



**VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES LIGNEUX  
CONSOMMÉS PAR LES RUMINANTS  
EN AFRIQUE CENTRALE ET OCCIDENTALE**

**RAPPORT FINAL**

<b>ALLEMAGNE</b>	Universität Hohenheim - Institut für Tierernährung
<b>BELGIQUE</b>	CRA Gembloux - Station de Haute Belgique
<b>CAMEROUN</b>	IRZV - Yaoundé, Ngaoundéré, Garoua
<b>CÔTE D'IVOIRE</b>	IDESSA-DRA - Bouaké
<b>FRANCE</b>	CIRAD-EMVT - Maisons-Alfort CIRAD-FORÊT - Nogent/Marne INRA-SRNH - Theix
<b>MALI</b>	IER - Sotuba, Niono
<b>SÉNÉGAL</b>	ISRA-DRPSA-LNERV - Dakar
<b>TCHAD</b>	LRVZ - Farcha, N'Djaména
	et
<b>BURKINA FASO</b>	IDR - Ouagadougou CIRAD-FORÊT/IRBET - Ouagadougou
<b>NOUVELLE-CALÉDONIE</b>	CIRAD-EMVT - Nouméa

**NOVEMBRE 1994**

Centre de Coopération internationale en Recherche agronomique pour le Développement  
Département d'Élevage et de Médecine vétérinaire  
CIRAD-EMVT  
10, rue Pierre-Curie 94704 Maisons-Alfort Cedex France



## **SOMMAIRE DU RAPPORT FINAL**

### **Résumé**

**Chapitre I** : Présentation succincte du programme d'étude de la valeur fourragère des arbres et arbustes d'Afrique tropicale centrale et occidentale

**Chapitre II** : Caractérisation des disponibilités fourragères ligneuses

**Chapitre III** : Composition botanique des régimes des ruminants sur parcours - Appétibilité relative des espèces ligneuses

**Chapitre IV** : Récolte et commercialisation des fourrages ligneux en régions périurbaines

**Chapitre V** : Echantillonnage des fourrages ligneux - Analyses au laboratoire - Composition chimique et dégradabilité enzymatique

**Chapitre VI** : Les tanins dans les fourrages ligneux

**Chapitre VII** : *In vitro* Untersuchungen zur Ermittlung der Verdaulichkeit, des Gehaltes an umsetzbarer Energie und des Proteinverfügbarkeit bei tropischen Futterbäumen und Büschen

*In vitro* studies for the prediction of digestibility, metabolisable energy content and protein fermentability of shrubs and tree fodders

(Mesures *in vitro* de la digestibilité pour estimer les teneurs en énergie métabolisable et en azote dégradable dans le rumen des fourrages ligneux)

**Chapitre VIII** : Prévion par la spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) de la composition chimique et de la dégradabilité enzymatique ou *in vitro* des fourrages ligneux

**Chapitre IX** : Dégradabilité *in situ* de la matière sèche et des matières azotées de quelques fourrages ligneux : application des méthodes *in sacco* à l'étude de la digestion dans le rumen et dans les intestins

**Chapitre X** : Ingestion et digestibilité *in vivo* des fourrages ligneux

**Chapitre XI** : Essais d'alimentation de moutons avec des fourrages ligneux

### **Conclusion générale**

**Annexe I** : Liste des espèces ligneuses enregistrées au catalogue CIRAD-EMVT/Laboratoire d'Ecologie végétale de l'Université Paris-Sud et des espèces ligneuses et subligneuses échantillonnées et étudiées sur l'animal

Human Resource Training - Equipment

→ **Liste des Abréviations**

## CHAPITRE IX

# DÉGRADABILITÉ *IN SITU* DE LA MATIÈRE SÈCHE ET DES MATIÈRES AZOTÉES DE QUELQUES FOURRAGES LIGNEUX : APPLICATION DES MÉTHODES *IN SACCO* À L'ÉTUDE DE LA DIGESTION DANS LE RUMEN ET DANS LES INTESTINS.

Par

Safiétou TOURE FALL<sup>1</sup>, Brigitte MICHALET DOREAU<sup>2</sup> et Claude PONCET<sup>2</sup>

Avec la collaboration de Bassirou DIAW<sup>1</sup> et Roger BERGEAULT<sup>2</sup>

\*\*\*

<sup>1</sup> LNERV-ISRA –BP 2057-Dakar, Sénégal

<sup>2</sup> SRNH-CRZV de Theix –INRA-63122 Ceyrat

-----  
Dégradabilité *in situ* de la matière sèche et des matières azotées de quelques fourrages ligneux: application des méthodes *in sacco* à l'étude de la digestion dans le rumen et dans les intestins. Touré Fall S., Diaw B., Michalet Doreau B., Poncet C., Bergeault R., 1994. Chapitre IX In : Valeur alimentaire des fourrages ligneux consommés par les ruminants en Afrique Centrale et Occidentale. Rapport final CCE-DGXII ST2.A/89/215.F. Guérin Hubert (ed.). Maisons-Alfort : CIRAD-EMVT, 365-403.



## SOMMAIRE

	Page
1. INTRODUCTION : ETAT INITIAL DES CONNAISSANCES ET JUSTIFICATION DE L'ETUDE .....	1
2. OBJECTIFS ET REALISATION DE L'ETUDE .....	2
2.1. Dégradabilité dans le rumen .....	2
2.2. Dégradabilité dans l'intestin .....	3
3. MATERIEL ET METHODES .....	4
Encadré 1 - Mesures de dégradabilité <i>in situ</i> - <i>in sacco</i> de la matière organique et des matières azotées dans le rumen : méthode appliquée au CRZV de Theix et à l'ISRA (d'après Safietou TOURE FALL, 1993) .....	4
Encadré 2 - Mesures de dégradabilité <i>in situ</i> - <i>in sacco</i> des matières azotées dans l'intestin = méthode appliquée au CRZV de Theix (d'après Safietou TOURE FALL, 1993) .....	9
4. RESULTATS .....	12
4.1. Description des teneurs en constituants pariétaux fractionnés par la méthode de Van Soest et Wine (1963)..	12
4.2. Répartition de l'azote dans les structures cellulaires .	12
4.3. Dégradabilité <i>in sacco</i> de la matière sèche .....	12
4.4. Dégradabilité <i>in sacco</i> des matières azotées dans le rumen	15
4.5. Dégradabilité de l'azote des ligneux fourragers dans les intestins .....	27
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	33



## 1. INTRODUCTION : ETAT INITIAL DES CONNAISSANCES ET JUSTIFICATION DE L'ETUDE (Brigitte Michalet-Doreau, 1988)

Les fourrages ligneux se caractérisent par une teneur en MAT élevée et très variable, comprise entre 60 et 230 g/kg MS. La digestibilité de cet azote dans l'ensemble du tube digestif est également très variable, de 14 à 82 p.100, à cause de la variabilité de la teneur en MAT de ces aliments et probablement aussi de la variabilité de la dégradabilité dans le rumen et de la digestibilité dans l'intestin grêle de l'azote de ces fourrages qui sont riches en lignine et parfois en tanins (Wilson, 1977). Mais on connaît encore insuffisamment la digestion de l'N de ces aliments dans les différents compartiments du tube digestif pour comprendre ces variations. Or la plupart des systèmes d'évaluation de la valeur azotée des aliments utilisés actuellement proposent une démarche analytique, à savoir l'estimation de :

- la dégradabilité des protéines alimentaires dans le rumen ;
- la synthèse des protéines microbiennes dans le rumen ;
- la digestibilité des protéines alimentaires dans l'intestin grêle.

La proportion d'N alimentaire dégradée dans le rumen est classiquement estimée à partir de la mesure de la vitesse de dégradation de l'N des aliments par la méthode des sachets de nylon placés dans le rumen (Mehrez et Orskov, 1977 ; de Boever *et al.*, 1984 ; Madsen et Hvelplund, 1985). Mais la méthodologie mise en oeuvre pour l'étude des fourrages pose un certain nombre de problèmes spécifiques, en particulier :

- le mode de conditionnement du fourrage vert (séchage, lyophilisation) qui peut entraîner des modifications physico-chimiques des constituants azotés ;
- la contamination microbienne des résidus de sachets par de l'N bactérien qui conduit à une sous-estimation de la dégradabilité de l'N dans le rumen (Mathers et Aitchison, 1981 ; Chapman et Norton, 1984 ; Varvikko et Lindberg, 1985 ; Nocek, 1988).

Des travaux ont déjà été réalisés au laboratoire des aliments (INRA, Theix) de manière à définir une méthodologie adaptée aux fourrages, à savoir, séchage des échantillons de fourrage vert à 60°C, et utilisation du "stomacher" pour réduire la contamination microbienne des résidus *in sacco* (Ould Bah *et al.*, 1988).

Quant à la digestibilité réelle des protéines alimentaires des fourrages dans l'intestin grêle, elle est encore moins bien connue que la dégradabilité de l'N dans le rumen. On peut également supposer qu'elle est très variable pour les fourrages ligneux, car elle est fortement corrélée à la teneur en MAND.

Différentes méthodes d'estimation de la digestibilité dans l'intestin grêle sont actuellement disponibles, la technique des sachets de nylon introduits dans le duodénum et récupérés dans les fèces (Rae et Smithard, 1985) ou dans l'iléon (Poncet *et al.*, 1988) constituent une approche intéressante. Mais la digestibilité intestinale peut aussi être estimée *in vitro*, à partir du résidu de l'attaque à la pepsine de l'aliment lui-même ou du résidu d'incubation de cet aliment dans le rumen.

Pour essayer d'expliquer les variations tant au niveau de la dégradabilité de l'N dans le rumen que de la digestibilité des protéines alimentaires dans l'intestin grêle, quelques hypothèses ont été formulées, à savoir :

- les caractéristiques biochimiques des protéines : nature et structure des protéines fourragères, présence de tanins (Mc Leod, 1974 ; Marshall *et al.*, 1979) ;

- surtout la localisation des protéines dans le tissu végétal. On distingue deux groupes de protéines qui présentent des différences marquées de propriétés : les protéines du cytoplasme (ou protéines hydrosolubles) et les protéines des membranes (ou protéines non hydrosolubles). Mais, quelle que soit leur localisation, ces protéines ne peuvent passer en solution qu'après rupture de la membrane de la cellule ou hydrolyse des glucides pariétaux (Demarquilly *et al.*, 1981). La proportion de protéines libérée dépend donc de l'accessibilité du tissu chlorophyllien aux microorganismes du rumen. La détermination du pourcentage d'azote des fractions NDF et ADF (Goering *et al.*, 1972 ; Van Soest et Sniffen, 1984 ; Krishnamoorthy *et al.*, 1982) constitue une première approche des mécanismes de dégradation mis en jeu dans le rumen et dans l'intestin grêle. Mais l'aptitude des protéines à être dégradée par les micro-organismes du rumen peut également être étudiée directement par l'observation au microscope électronique des résidus obtenus *in sacco* (Galland *et al.*, 1981).

Les ligneux constituent, pour l'étude des mécanismes de dégradation, un matériel très intéressant dans la mesure où ils permettent probablement de couvrir, avec un même type d'aliment (fourrage vert en l'occurrence), une plage de variation très large tant au niveau de la dégradabilité de l'N dans le rumen qu'au niveau de la digestibilité intestinale.

## 2. OBJECTIFS ET REALISATION DE L'ETUDE

### 2.1. Dégradabilité dans le rumen

La dégradabilité dans le rumen de la matière organique et des matières azotées est le principal paramètre de variation de la valeur nutritive des fourrages.

La digestibilité *in vivo* de la matière organique peut être prédite par des méthodes chimiques, enzymatiques (chapitre V) ou *in vitro* (chapitre VII) plus rapides et plus répétitives que la méthode *in sacco*. Toutefois, cette dernière permet de classer les aliments suivant leur digestibilité dans le rumen lorsque l'on fait varier les conditions physico-chimiques de celui-ci.

La méthode *in sacco*, compte tenu des faibles quantités d'échantillons mises en jeu, permet aussi d'approcher la digestibilité potentielle des aliments dans le rumen en l'absence d'interactions ou d'effets négatifs de facteurs antinutritionnels qui sont alors très dilués (tanins dans le cas des ligneux) : il faut alors surtout se référer aux résultats obtenus après de longs temps de séjour dans le rumen (jusqu'à 96 heures : partie asymptotique des courbes de dégradation).



En revanche, la mesure de la dégradabilité des matières azotées fournit le résultat de référence, la dégradabilité théorique DT, indispensable à la détermination de la valeur azotée des aliments selon les nouveaux systèmes d'alimentation (INRA, 1988 ; NRC, 1985). C'est, dans ce cas, par comparaison aux mesures *in sacco* que les données *in vitro*, enzymatiques et chimiques sont calibrées. Malgré la standardisation de la méthode *in sacco* la reproductibilité des résultats est moins bonne que pour les méthodes *in vitro* ou enzymatiques.

Quelques-unes des conditions de base à réunir pour l'obtention de résultats fiables sont rappelées ci-dessous :

- décontamination des résidus *in sacco* des matières azotées microbiennes qui ont adhéré aux particules alimentaires pendant le séjour dans le rumen. L'effet (biais) de cette contamination sur la mesure de la dégradabilité est faible, voire négligeable, pour les fourrages riches en azote, en revanche il est important dans le cas des fourrages pauvres en azote (Ould Bah *et al.* 1988) ;
- entretien d'animaux fistulés sains recevant des régimes constants, de caractéristiques identiques entre les laboratoires (taux de concentré, digestibilité du fourrage, teneur en azote) avec une teneur en azote fermentescible non limitante pour l'activité microbienne ;
- broyage des échantillons et fabrication des sachets standardisés ;

Pendant le projet, ces conditions n'étaient réunies qu'à la SNRH de l'INRA de Theix et à l'ISRA de Dakar, ce qui explique que la méthodologie *in sacco* n'ait été mise en oeuvre que par ces deux centres. Et cela, malgré son intérêt pour l'étude des ligneux. En effet, la bibliographie met en évidence une forte variabilité de la dégradabilité des fourrages ligneux dans le rumen.

## 2.2. Digestion dans l'intestin

Les données bibliographiques montrent que malgré des teneurs en matières azotées élevées, les rations à base de fourrages ligneux ne permettent souvent qu'une faible rétention azotée et, en tout cas, variable d'une espèce à l'autre.

Cela est prévisible au vu des mesures de dégradabilité enzymatiques ou *in sacco* et est confirmé par les résultats relatifs à la digestibilité apparente de l'azote (bilans *in vivo*).

Il était donc souhaitable de s'interroger, aussi, sur le devenir des matières azotées non fermentées dans la panse au niveau des compartiments inférieurs du tube digestif : intestin grêle et gros intestin.

Une méthode *in sacco*, fut donc appliquée au CRZV de Theix dans le cadre du travail de thèse de Safiétou Touré Fall (ISRA). Elle avait pour objectif de mesurer :

- la digestion enzymatique dans l'intestin grêle des matières azotées alimentaires non fermentées dans le rumen ;

- l'enrichissement en matières azotées microbiennes, au niveau du gros intestin, des résidus issus de l'intestin grêle dans le but de fournir un modèle de correction de la teneur en azote des résidus en sachets à la sortie du gros intestin.

En effet, pour éviter la contamination microbienne, source d'erreur, il est nécessaire pour étudier la digestion dans l'intestin de l'azote d'origine alimentaire d'utiliser des animaux porteurs de deux canules, à l'entrée et à la sortie de l'intestin grêle. Un système de correction fiable, s'il était mis au point, permettrait d'introduire des sachets au niveau du duodénum et de les récupérer dans les fèces.

Les espèces dont on a mesuré la digestion de l'azote dans l'intestin ont bien sûr été aussi étudiées dans le rumen.

Ainsi les fractions azotées digérées dans chaque compartiment du tube digestif devaient être déterminées.

### 3. MATERIEL ET METHODES

Le texte ci-dessous (encadrés 1 et 2) résume les techniques utilisées telles qu'elles sont présentées dans la thèse de Safietou Touré Fall (1993) préparée au CRZV de Theix et à l'ISRA.

**ENCADRE 1 - Mesures de dégradabilité *in situ*, *in sacco* de la matière organique et des matières azotées : méthode appliquée au CRZV de Theix et à l'ISRA (d'après Safietou Touré Fall, 1993).**

#### Animaux et aliments

Les mesures *in sacco* ont été réalisées soit à Dakar avec trois zébus mâles de race Gobra munis d'une canule du rumen (essai 1), soit à Theix avec trois vaches Jersiaises (essai 2). Les animaux étaient nourris avec des régimes à base de paille de riz (essai 1) ou de foin de graminée (essai 2) ; les taux de concentré étaient respectivement de 15 et 30 p.100 MS à Dakar et à Theix.

Neuf espèces ligneuses ont été étudiées : *Faidherbia albida* (2), *Acacia raddiana* (1-2), *Adansonia digitata* (1), *Azadirachta indica* (1), *Balanites aegyptiaca* (1-2), *Bauhinia rufescens* (1-2), *Boscia senegalensis* (1), *Guiera senegalensis* (1-2), *Calatropis procera* (1)<sup>1</sup>. Les espèces ligneuses ont été comparées à des graminées et légumineuses herbacées de zone tempérée : *Dactylis glomerata* (deux stades), *Lolium perenne*, *Medicago sativa* (trois stades).

Trois grammes d'échantillon broyé et tamisé au travers d'une grille de 1 mm ont été introduits dans des sachets décrits à la figure IX.1. Les sachets, fixés à un anneau de fer plastifié et servant de lest (fig. IX.2), étaient tous introduits au même moment dans le rumen, le matin juste avant le premier repas et retirés au bout de 2, 4, 8, 24, 48, 72, 96 heures. Ces temps correspondent à 7 points de cinétique par aliment à Dakar. A Theix, 10 points de cinétique répartis entre 1 et 96 heures ont été mesurés. Les sachets ont ensuite été lavés à l'eau froide

<sup>1</sup> (1) : essai ; (2) : essai 2 ; (1-2) essais 1 et 2.

puis battus au stomacher (Michalet-Doreau et Ould-Bah, 1989) pour diminuer la contamination microbienne. En effet, la proportion de matière sèche d'origine bactérienne restant dans le sachet après lavage peut être importante et entraîner une sous-estimation de la dégradabilité particulièrement pour l'azote, étant donnée la forte teneur en azote des bactéries (Bernard et al., 1989). Le traitement au stomacher est donc surtout important pour l'étude de la dégradabilité de l'azote des fourrages pauvres (Ould Bah et al., 1989) (fig. IX.3).

Après traitement au stomacher les sachets ont été lavés à nouveau sous un courant d'eau froide avant d'être séchés à l'étuve à 80°C pendant 48 h. Chaque cinétique était réalisée en double sur trois animaux soit six répétitions par échantillon et par temps d'incubation.

Les analyses chimiques effectuées sur les aliments et les résidus selon les méthodes mentionnées ci-dessus au chapitre V ont porté sur l'azote total, l'azote des parois totales (Nndf) et l'azote de la ligno-cellulose (Nadf).

Les dégradations *in sacco* de l'azote total, de l'azote pariétal (Nndf et Nadf), celle de la différence (Nhem = Nndf - Nadf) et celle de l'azote du contenu cellulaire (Nnds) ont été calculées pour les différents temps d'incubation.

Malgré le traitement au stomacher, il demeure dans les résidus des corps bactériens représentant 4 p.100 de la matière sèche des résidus et une proportion plus importante, variable suivant la nature des fourrages, des matières azotées. Cette matière sèche et azotée bactérienne est prise en compte dans le calcul des taux de dégradation (Michalet-Doreau et Ould Bah, 1989) :

$$\text{pourcentage N résiduel corrigé} = \text{pourcentage N résiduel} - \frac{(\text{quantité MS résiduelle} \times m \times 6.67)}{(\text{quantité N initial})}$$

avec :

\* m représentant le rapport MS bactérienne/MS résiduelle ; ce coefficient varie de 0.002 à 0.04 en fonction de la durée d'incubation;

\* 6.67 correspondant à la teneur moyenne en azote des bactéries adhérentes du rumen (Ould-Bah, 1989).

En revanche, la contamination microbienne persistante après passage au stomacher n'a pas été prise en compte pour calculer le taux de dégradation de la fraction pariétale (Nndf et Nadf) car les teneurs en parois et, donc, en azote des parois des bactéries sont faibles.

Les cinétiques de dégradation ont été ajustées à un modèle de type exponentiel dépendant du temps (t) (figure IX.4 - Orskov et Mc Donald, 1979) :

- sans temps de latence :

$$\text{Deg} = a + b (1 - e^{-ct})$$

- ou avec temps de latence (Dhanoa, 1988) :

$$\text{Deg} = a + b (1 - e^{-c(t-t_0)})$$

ou

a (p.100) = fraction rapidement dégradable ;

b (p.100) = fraction lentement dégradable ;

c (/h) sa vitesse de dégradation ;

t (h) = temps d'incubation et  $t_0$  = temps de latence.

Les paramètres ont été obtenus par une régression non linéaire (méthode Marquard de la procédure NLIN-SAS, 1983).

En tenant compte du turn-over des particules alimentaires dans le rumen (k), la dégradabilité théorique de l'azote (DT p.100) a été calculée par la relation suivante :

$$\text{DT} = a + (bc/c+k)$$

pour les fourrages dont le profil de dégradation ne présente pas de temps de latence.

Pour les fourrages présentant un temps de latence ( $t_0$ ), DT a été calculée avec la relation :

$$\text{DT} = a + (bc/c+k.e^{-kt_0})$$

Un turn-over k de 0.04/h, correspondant au turn-over de la phase solide chez les races bovines tropicales (Lechner-Doll et al., 1990) a été retenu.

Figure IX.1 - Caractéristiques des sachets

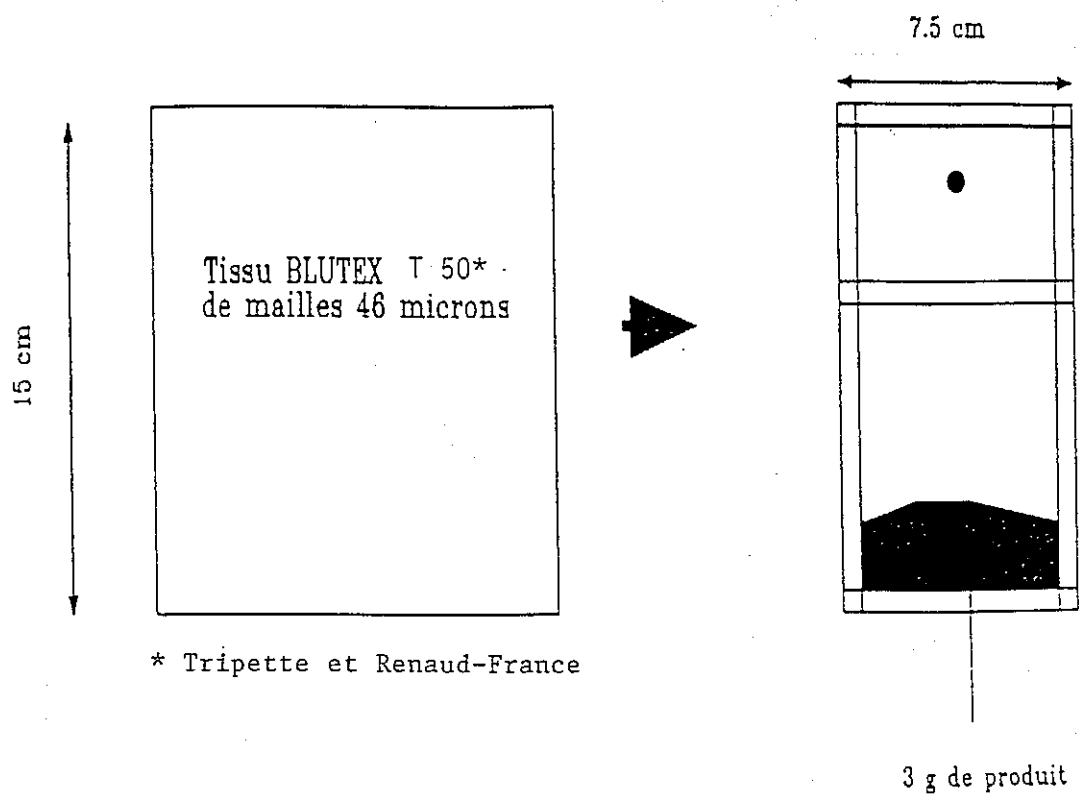


Figure IX.2 - Suspension des sachets dans le rumen

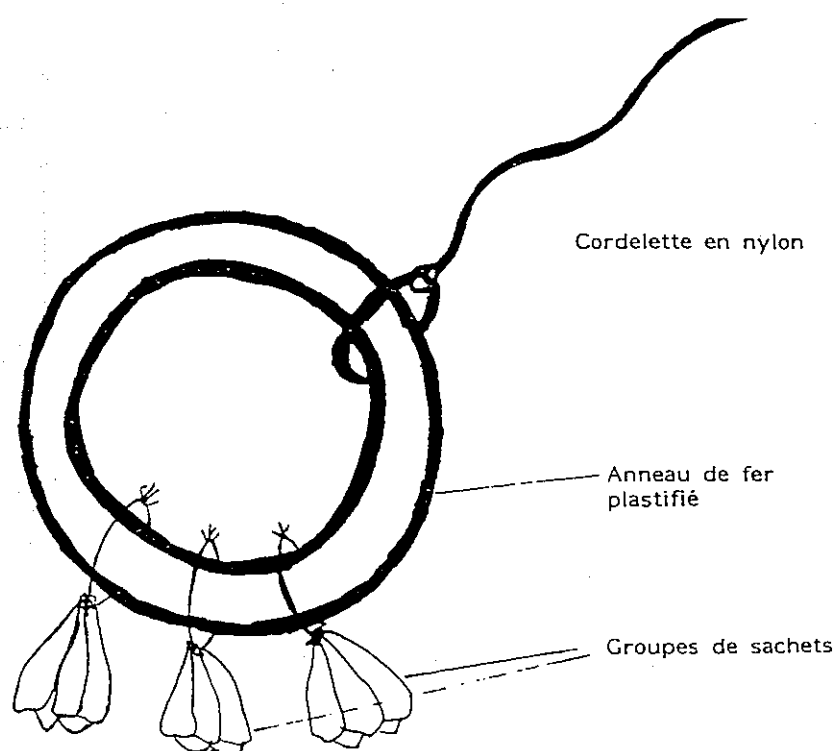
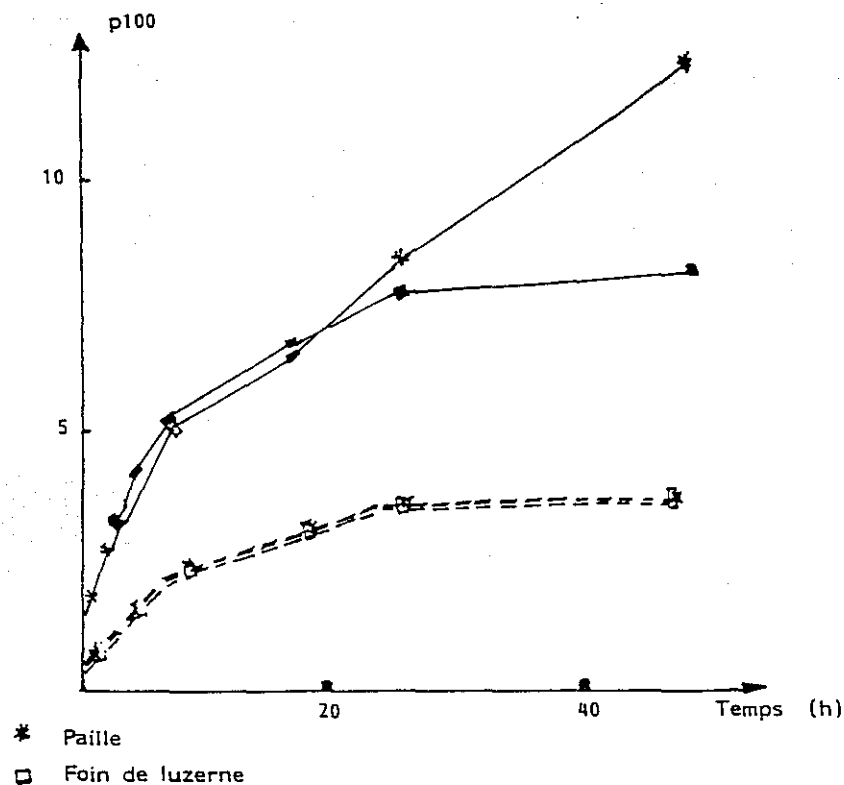


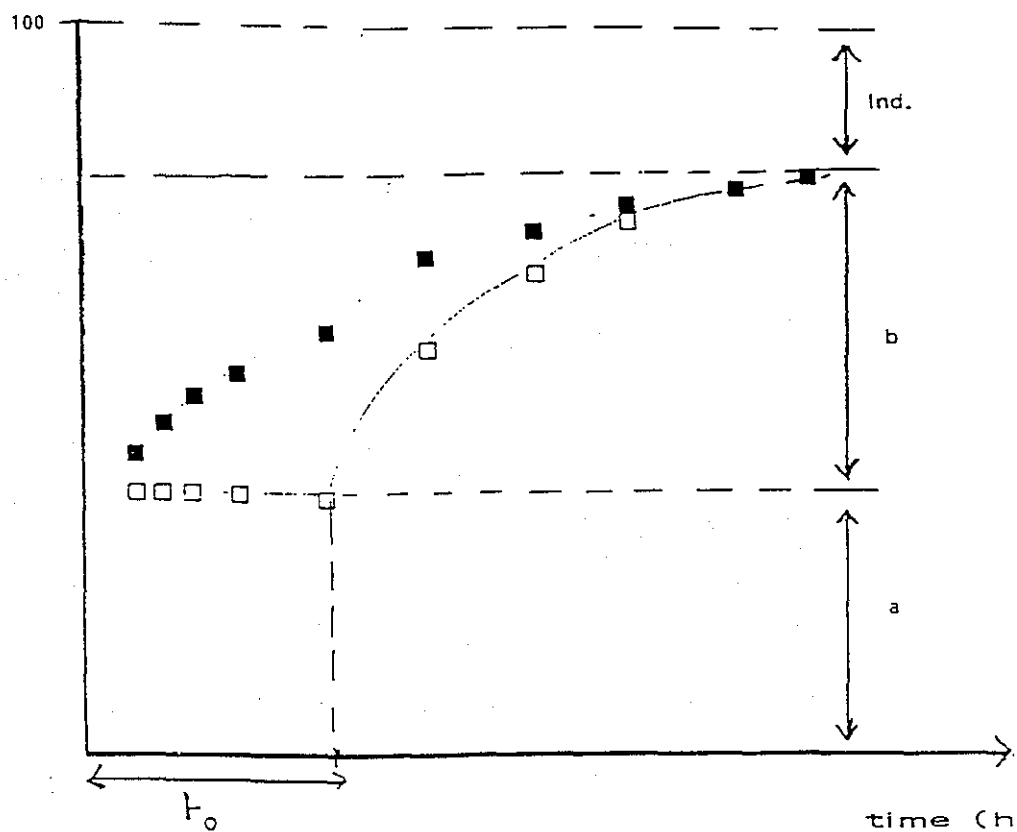
Figure IX.3 - Evolution de la contamination bactérienne des résidus *in sacco* en fonction de la durée d'incubation des sachets dans le rumen, avant et après passage au stomacher

MS bactérienne / MS résiduelle



Source : Michalet-Doreau et Ould-Bah (1989)

Figure IX.4 - Dégradation *in sacco* des aliments en fonction du temps d'incubation



$$D = a + b (1 - e^{-\alpha t})$$

$$D = a + b (1 - e^{-\alpha (t - t_0)})$$

**ENCADRE 2 - Mesures de digestion *in sacco* des matières azotées dans les intestins = méthode appliquée au CRZV de Theix (d'après Safietou Touré Fall, 1993).**

#### **Animaux et aliments**

Les mesures ont été réalisées à la SRNH du CRZV de Theix avec trois vaches fistulées du rumen (encadré 1) et trois moutons mâles castrés de race Texel porteurs d'une canule du duodénum (à 5 cm du pylore) et d'une canule rééminente iléo-iléale. Leur régime alimentaire était identique à celui des vaches de l'essai 2.

Six échantillons, parmi ceux étudiés dans le rumen ont été choisis pour ces mesures : trois espèces ligneuses (feuilles et gousses de *Faidherbia albida* ; feuilles de *Balanites aegyptiaca* ; gousses d'*Acacia raddiana*) et comparés avec deux foin de graminée tempérée (*Dactylis glomerata*) récoltés à des stades différents. Puis un échantillon de foin de luzerne a été comparé aux précédents.

La première étape de la mesure consistait en une dégradation *in sacco* dans le rumen de vaches pendant 14 heures suivant la technique décrite à l'encadré 1 à raison de six sachets (3 vaches x 2 répétitions) par échantillon figure IX.5. A la sortie du rumen les sachets étaient lavés, congelés et lyophilisés à -18°C. Les résidus ainsi obtenus étaient destinés à la mesure de la digestibilité intestinale. En effet, Yang et Poncet (1991) et Yang (1991) ont montré que l'effet de la caillette sur la digestion de l'azote était négligeable et que cette étape pouvait être supprimée lors de mesures *in sacco*.

Les résidus lyophilisés de la digestion dans le rumen ont été introduits dans des sachets de forme hexagonale réalisés avec du tissu nylon blutex T150 à partir d'un rectangle mesurant 5 x 3 cm. Les prises d'essai étaient de 200 mg environ (figure IX.6).

Les micro-sachets ont été introduits dans la canule duodénale à raison d'un sachet toutes les 20 minutes et de 8 sachets par animal (figure IX.5). Ils étaient récupérés au niveau de l'iléon par la canule rééminente. Leur temps de séjour dans l'intestin grêle devait être déterminé en notant l'heure d'introduction et l'heure de sortie : il est en moyenne de 7 heures avec une disparité élevée et aléatoire d'un animal à l'autre. Les sachets ont ensuite été lavés par agitation manuelle pendant deux minutes dans un flacon contenant 500 ml d'une solution de chlorure de sodium 9 p.100 (p/v), puis séchés à l'étuve à 80°C. La disparition de la matière sèche et de l'azote à l'issue de cette mesure correspondait à leur digestion *in sacco* dans l'intestin grêle.

Pour estimer la contamination de l'azote alimentaire par les microorganismes du gros intestin, des sachets (4 par aliment et par animal) ayant subi un passage dans le rumen (14 h) et dans l'intestin grêle étaient introduits à raison d'un sachet toutes les 30 minutes dans le gros intestin par la canule rééminente iléo-iléale et récupérés dans les fèces. Ces sachets étaient ensuite lavés et séchés selon le même procédé que les micro-sachets sortis de l'intestin grêle.

La teneur en N total (microKheldahl) des résidus du rumen, de l'intestin grêle et du gros intestin a été déterminée par les méthodes habituelles (AOAC, 1975 - chapitre V).

Figure IX.5 - Répartition des sachets dans l'essai de digestibilité *in sacco* dans l'intestin

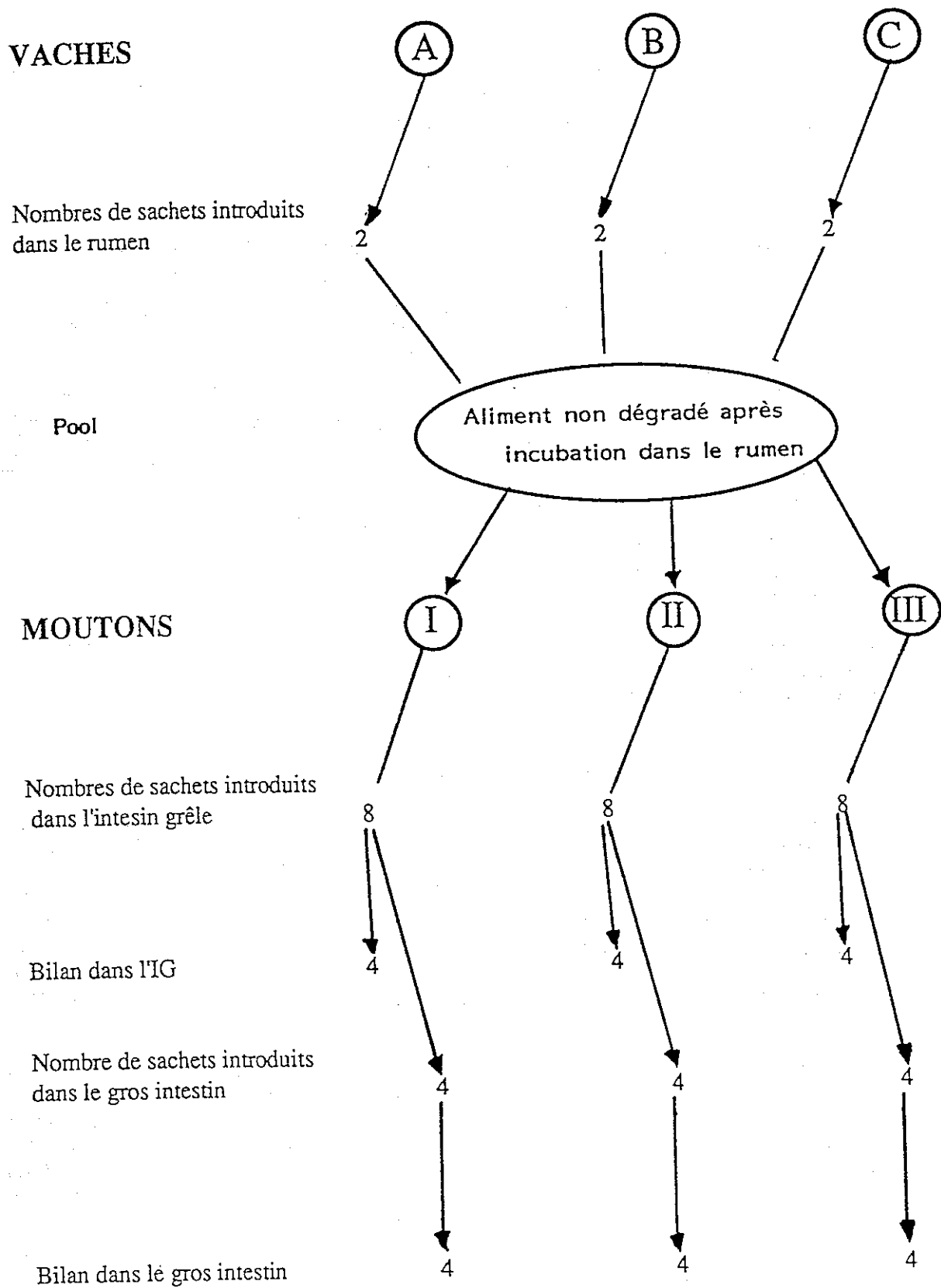
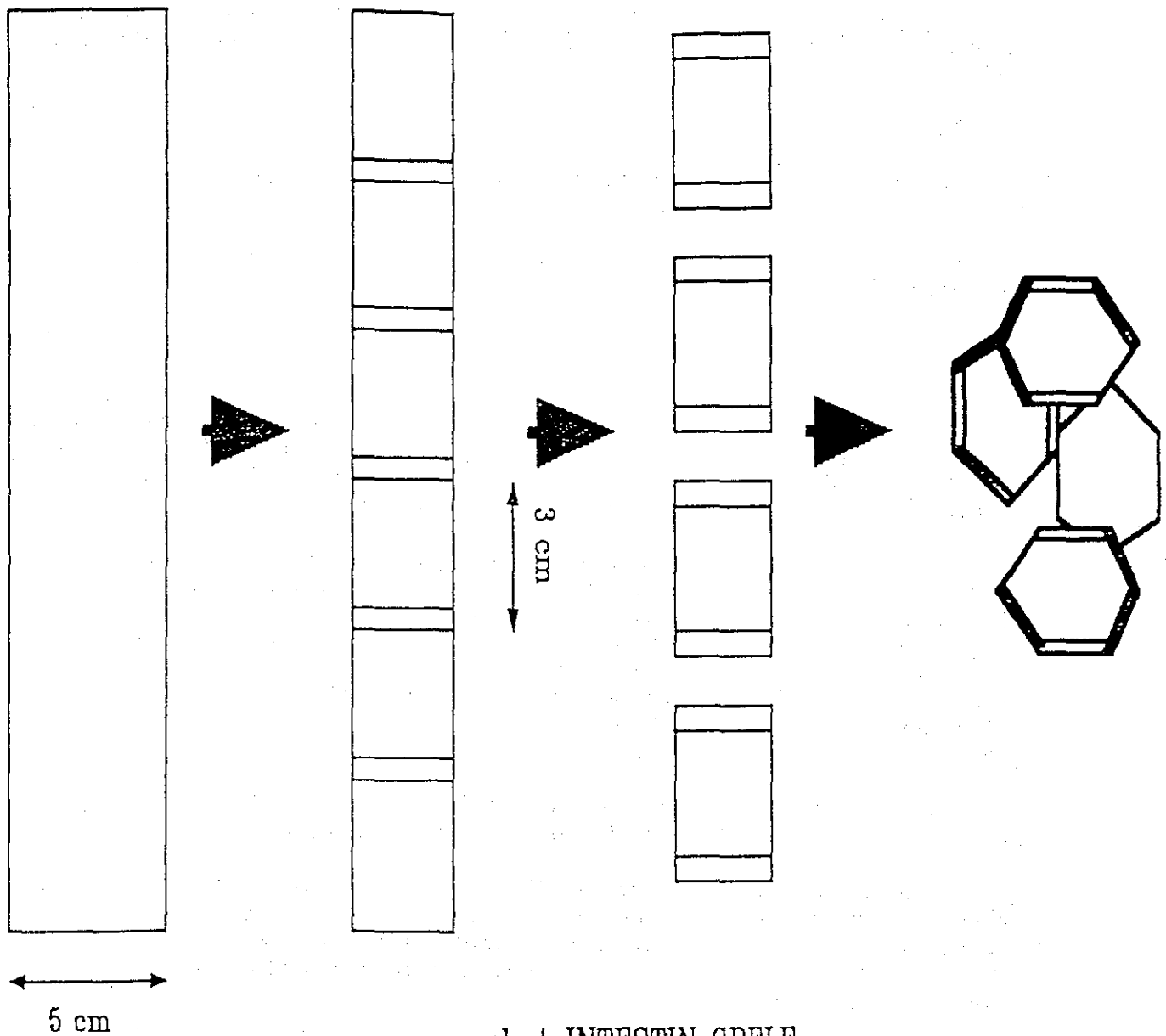
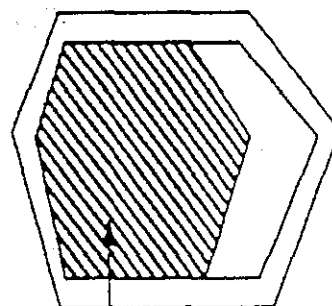




Figure IX.6 - Préparation des micro-sachets dans l'étude de la digestion *in sacco* dans les intestins



sachet INTESTIN GRELE



0.3 g de produit

#### 4. RESULTATS

Les résultats de ces travaux sont exposés en détail dans le rapport de thèse de Safietou Touré Fall (1993) et ont donné lieu à plusieurs publications (cf. liste des références *in* chapitre I).

Ils comprennent :

##### 4.1. Description des teneurs en constituants pariétaux fractionnés par la méthode de Van Soest et Wine (1967)

Les résultats sont conformes à ceux exposés par Koné (1987) et rappelés au chapitre V.

##### 4.2. Répartition de l'azote dans les structures cellulaires

Ces résultats sont originaux dans le cadre du projet car les autres laboratoires se sont limités à doser l'azote lié à la fraction ADF (Nadf). Ici le dosage de l'azote lié à l'ensemble des parois (Nndf) permet d'identifier deux fractions azotées supplémentaires, utiles à l'interprétation des cinétiques de dégradation *in sacco* dans le rumen.

En comparaison des graminées et légumineuses tempérées, l'azote des ligneux a une distribution beaucoup plus variable (figure IX.7), il peut être pour environ 90 p.100 dans le cytoplasme ( $N_{NDS}$ ), c'est le cas pour les gousses d'*Acacia raddiana* et de *Faidherbia albida* et pour les feuilles de *Balanites aegyptiaca*, ce pourcentage s'abaissant à 30 p.100 dans les feuilles de *Faidherbia*. Cette fraction correspond à l'azote rapidement dégradé ; elle est de l'ordre de 60 p.100 et moins variable dans les fourrages herbacés tempérés.

Les fractions plus lentement (Nndf-Nadf) et non dégradables (Nadf) sont aussi en proportions très variables dans les fourrages ligneux.

En ce qui concerne la fraction Nadf, les résultats sont conformes à ce qui a été mis en évidence par Kone *et al.* (1989) et les autres membres du projet. Il a par ailleurs été mis en évidence que des proportions élevées de Nadf entraînaient une faible dégradabilité enzymatique ainsi que des digestibilités *in vivo* peu élevées.

##### 4.3. Dégradabilité *in sacco* de la matière sèche

Des comparaisons entre les résultats obtenus à Dakar et à Theix ont été effectuées (Tableau IX.1 - Fall 1993).

Les cinétiques de dégradation ont été mesurées sur 14 espèces et comparées à celles d'un foin de luzerne. Elles sont comme pour Koné (1987) très différentes d'une espèce à l'autre et se situent de part et d'autre de celle du foin (Figure IX.8).

Les dégradabilités théoriques calculées de la matière sèche DTms sont comprises entre 32 et 74 p.100, cette fourchette étant comparable à celle qui est habituellement donnée au vu des estimations de digestibilité par les méthodes enzymatiques (chapitre V), *in vitro* (chapitre VII) ou des mesures *in vivo* (chapitre X).

Figure IX.7 - Partition of nitrogen into neutral-detergent soluble (NDSN), available fiber (AFN) and acid detergent fibre nitrogen (ADFN) in feedstuffs (expressed as a p.100 of total N) (Safietou Fall Touré, 1993)

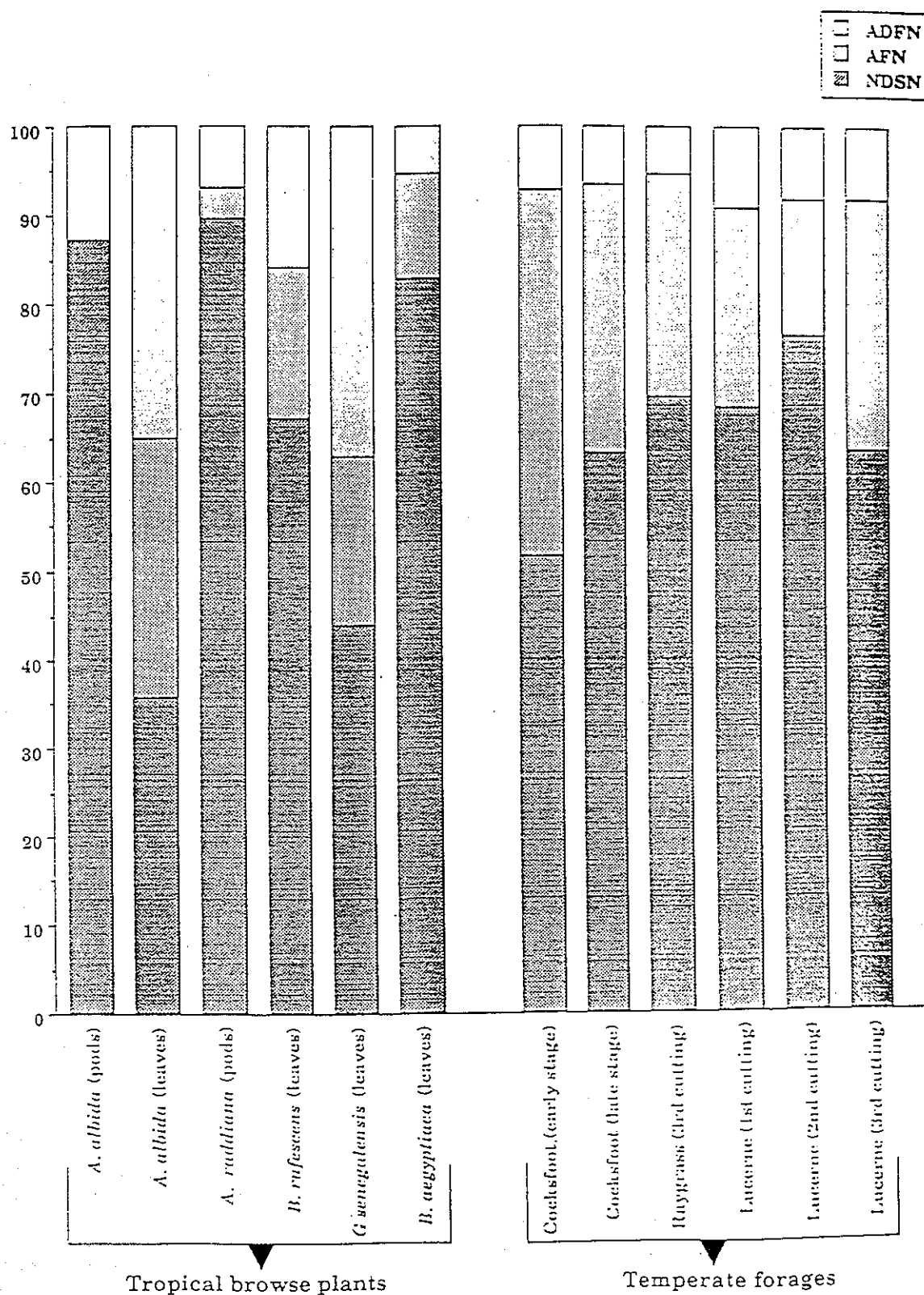


Figure IX.8 - Profil de dégradation de la MS des ligneux. Comparaison avec un foin de luzerne (Safietou Fall Touré, 1993)

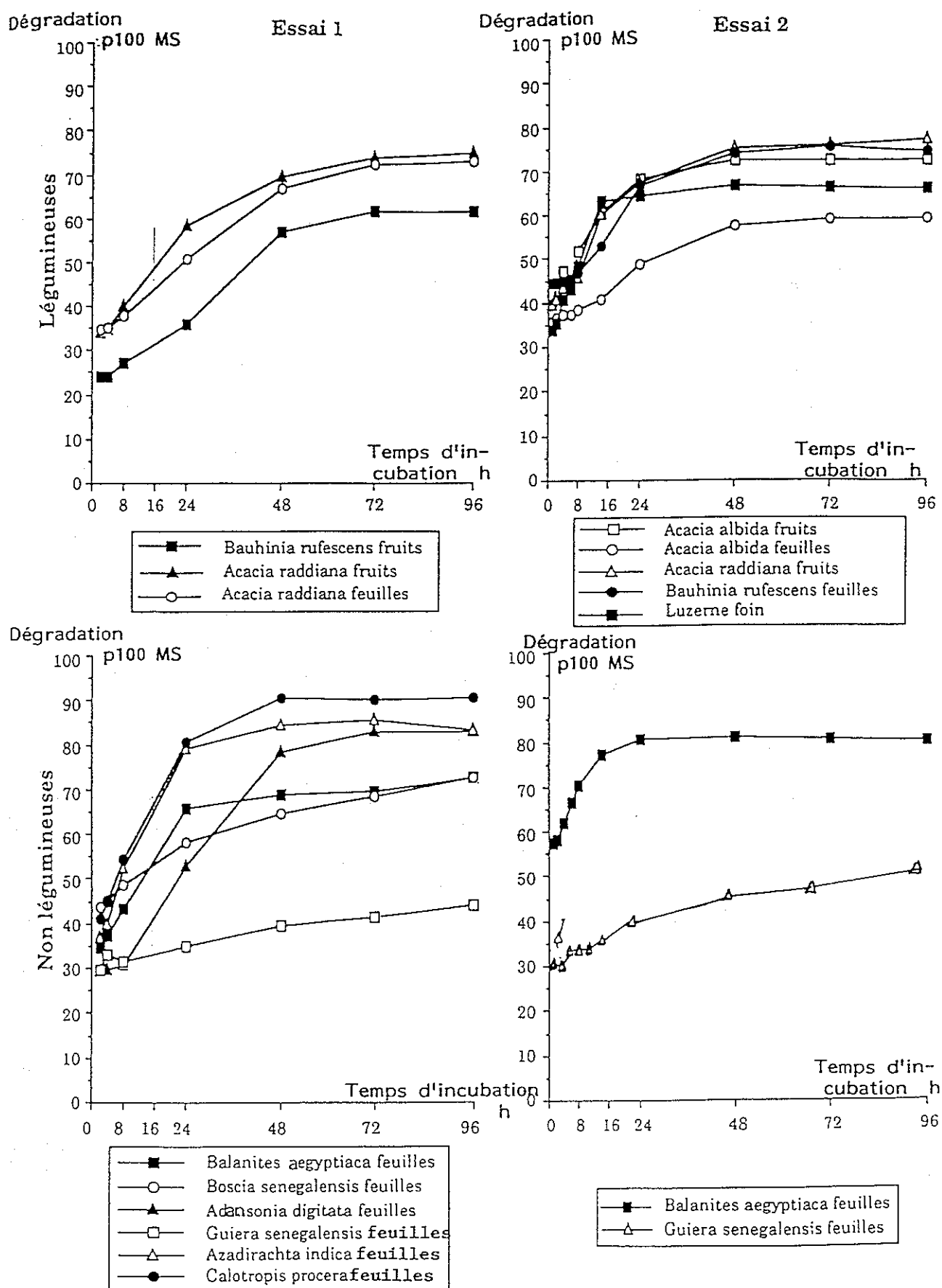


Tableau IX.1 - Reproductibilité de la mesure de la cinétique de dégradation de la matière sèche de deux espèces ligneuses (Fall Touré 1993)

ESPECE	LIEU DE MESURE	a p100	b p100	c h-1	ind p100	to h	Deg p100
G. senegalensis feuilles	THEY	34.3 <sup>a</sup>	18.1 <sup>a</sup>	0.014 <sup>a</sup>	46.1 <sup>a</sup>	15.9 <sup>a</sup>	37.1 <sup>a</sup>
	DAKAR	32.0 <sup>a</sup>	24.9 <sup>a</sup>	0.002 <sup>a</sup>	43.1 <sup>a</sup>	3.3 <sup>b</sup>	33.4 <sup>b</sup>
A. raddiana fruits	THEY	35.3 <sup>a</sup>	42.3 <sup>a</sup>	0.059 <sup>a</sup>	22.4 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	59.5 <sup>a</sup>
	DAKAR	29.9 <sup>a</sup>	49.9 <sup>a</sup>	0.035 <sup>a</sup>	20.1 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	52.6 <sup>b</sup>
EFFET LIEU DE MESURE		NS	NS	NS	NS	NS	P<0.05

Pour une même espèce les lettres différentes correspondent à des différences significatives.

#### 4.4. Dégradabilité *in sacco* des matières azotées dans le rumen

L'intérêt des mesures *in sacco* réalisées dans cette étude est lié au fractionnement des matières azotées tant dans les fourrages étudiés que dans les résidus. Ainsi la dégradabilité de chaque fraction azotée a pu être calculée.

Les résultats ont été présentés par leurs auteurs à plusieurs congrès et dans une revue. Des extraits de ces publications sont rapportés ci-dessous, tout d'abord sous forme de résumé (Annales de Zootechnie 1993 - 42, 140) puis de façon plus détaillée (Animal Feed Science and Technology, sous presse).

## Ruminal N degradation of browse and temperate forages, and partition of N into carbohydrates

B Michalet-Doreau<sup>1</sup>, S Touré-Fall<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SRNH, Valeur Alimentaire, INRA Theix, 63122 Ceyrat, France;

<sup>2</sup> ISRA LNERV, BP 2057 Dakar, Sénégal

The lower N digestibility of browse forages can be explained by the presence of polyphenol compounds (tannins) (Ho Ahn *et al*, 1989) or by the partitioning of herbage N into structural carbohydrates. Van Soest and Sniffen (1984) suggested that partitioning herbage N into neutral and acid-detergent-soluble and -insoluble portions may explain ruminal N degradability. Our objective was to examine the latter hypothesis.

In the rumen the *in situ* N and cell wall N (NDFN, ADFN) degradability was measured of 2 forages harvested in a semi-arid zone of Senegal (*Acacia albida* and *Balanites aegyptiaca* leaves) and 2 temperate forages (cocksfoot and alfalfa hays).

The forages were ground through a 0.8-mm screen, and the browses were previously dried at 60°C. *In situ* degradation measurements (10 incubation periods over 1 and 96 h) were carried out using 3 non-lactating cows receiving 7 kg DM/animal/d of a diet of hay and concentrate (70/30). After incubation, the bags were washed, beaten for 7 min in a stomacher and

washed again to decrease the bacterial contamination of the bag residues. Ruminal degradability of different components was calculated by fixing particle turnover rate at 0.06/h<sup>-1</sup>.

The N distribution was more homogenous in the temperate forages than in the browses studied. Consequently, the variation in N degradability was larger for the browses (from 26.7 to 82.6) than for the temperate forages (from 62.6 to 75.8%). The lowest N degradability of *Acacia albida* was due to high ADFN content (35.1%) and to the undegradability of the NDFN-ADFN fraction (table I). In our study, the lower N degradability of the browses could be explained by the N content in the cell wall.

Ho Ahn J, Robertson BM, Elliott R, Gutteridge RC, Ford CW (1989) *Anim Feed Sci Technol* 27, 147-156

Van Soest PJ, Sniffen CJ (1984) *Proc Distillers Feed Conf* 39, 73-81

Table I. Chemical composition and degradability of N and detergent-soluble and insoluble N of forages.

Forages	Composition (%)			Degradability (%)		
	N/DM	NDFN/N	ADFN/N	N	NDFN	NDFN-ADFN
Acacia	2.43	64.0	35.1	26.7	0	0
Balanites	5.19	17.2	5.5	82.6	17.7	20.7
Cocksfoot	2.40	48.2	7.2	62.6	26.1	26.8
Alfalfa	2.85	36.7	8.0	75.8	43.4	51.7

Extrait d'une publication envoyée à la revue : "Animal Feed Science and Technology" (sous presse)

## **Nitrogen partition in cell structures of tropical browse plants compared to temperate forages : Influence on their *in situ* degradation pattern**

S.Fall-Toure<sup>1</sup> and B.Michalet-Doreau<sup>2</sup> \*

<sup>1</sup> ISRA -LNERV, BP 2057 Dakar, Sénégal

<sup>2</sup> Station de Recherches sur la Nutrition des Herbivores  
INRA - Theix, 63122 Saint Genès-Champanelle, France

\* To whom correspondence should be addressed

### ABSTRACT

We compared the N ruminal degradation of browses with them of forages harvested in temperate country, and we examined the relationships between *in situ* N degradability and detergent fibre N content. Six browse plants were collected during the hot dry season in the semi-arid zone of West Africa (Senegal). Six hays were prepared from forages grown at Clermont-Ferrand, a semi-mountainous area in temperate zone. We measured the partition nitrogen (N) in feedstuffs with the detergent fibre system and the N and fibre N ruminal degradation with the nylon bag technique. Nitrogen in the neutral detergent fibre (expressed as %total N) varied from 10 to 64% for browses and from 23 to 48% for hays. For browses, an important part of cell wall N was located in the acid detergent fibre (ADFN). As a consequence of these chemical composition variations, there were large differences in N degradability of the browses, from 28 (leaves of *Guiera senegalensis*) to 86% (pods of *Acacia raddiana*). It was closely related to ADFN contents (RMSE=3.6;  $R^2=0.98$ ). The extent of N degradability variations was much lower for hays, from 70 to 79%.

### INTRODUCTION

Trees and shrubs represent an important feed source for ruminants in dry tropical regions of Africa. Their high nitrogen (N) content is well known (Le Houerou, 1980). Browses may thus enhance the protein level in ruminant diets, but their N is not always available in the digestive tract (Wilson, 1977; Reed et al., 1990). The evaluation of the browse nitrogen quality is therefore of major importance.

All the modern systems for the protein evaluation of ruminant feeds distinguish between N that is degraded in the rumen and may be converted to microbial crude protein, and undegradable or by-pass protein N which is more or less digestible in the intestine. The nylon bag technique is widely used to estimate the degradability of dietary N in the rumen.

Van Soest and Sniffen (1984) suggest an evaluation of different N fractions according to their location in the different parts of plant cells to help explain the N degradation profile. The neutral detergent soluble N (NDSN) would be readily degradable in the rumen and N bound to acid detergent fibre (ADFN) undegradable and undigestible (Goering et al., 1972).

To try to explain the low N digestibility of some browses, we compared the N ruminal degradation of browses with them of forages harvested in temperate country, which are recognised as having a high N digestibility (Jarrige, 1980). Our objective was also to examine the relationships between *in situ* N degradability and detergent fibre N content.

## MATERIALS AND METHODS

### *Forages*

The studied fodder trees were chosen for their pastoral interest during the dry season. The Mimosaceae (*Acacia* sp.) and the Combretaceae (*Guiera senegalensis*) represent a major part of pasture. The pods of *Acacia albida* and *Acacia raddiana*, the browses which keep their leaves during the dry season (*Bauhinia rufescens* and *Balanites aegyptiaca*) are widely fed during this period. Samples of these browses were collected in the hot dry season, in the sahelian zone of Senegal (Dahra) for *A. albida* and *B. aegyptiaca* and at the LNERV centre (Dakar) in the sahelio-sudanian zone for the three other species. Fresh samples (400 to 500 g) were hand-harvested from two or three specimens. Samples were air dried (2 to 4 days) in the shade. Six hays were prepared from forages grown at INRA, Clermont-Ferrand (Puy de Dôme, France), a semi-mountainous area at an altitude of 850 m. The hays were three samples of lucerne (*Medicago sativa*, *Europe* variety), harvested at the first, second, and third cutting; two samples of cocksfoot (*Dactylis glomerata*, *Lutetia* variety), harvested during the first growth at an early (early heading) or later (full flowering) stage; and a Hybrid Rye-grass (*Lolium multiflorum* x *perenne*, *Dalita* variety), harvested at the third cutting. All the samples were ground in a hammer mill with .8mm sieve.

### *Measurements*

*In situ* measurements were carried out using the nylon bag technique as described by Michalet-Doreau and Ould-Bah (1992). Three rumen fistulated dry cows (body weight 375 kg) received 7 Kg DM d<sup>-1</sup> natural grassland hay and concentrate (70:30) in two equal meals, at 08.00 and 16.00 h. About 3 g of sample ground through an .8 mm screen were introduced into the nylon bag (internal dimensions: 6 cm x 11 cm; pore size: 46 µm). The bags were heat sealed, all inserted into the rumen at once and removed after 1, 2, 4, 6, 8, 14, 24, 48, 72 and 96 hours. To take into account the bacterial contamination of bag residues, we used in this



study the method described by Michalet-Doreau and Ould-Bah (1992) that combined a technique of bag washing and beating in stomacher. After treatment, the bags were dried at 80°C and weighted. There were six measurements (3 cows x 2 replications) for each incubation time.

### *Chemical and mathematical analysis*

Samples of original material and residues were analysed for total N by Kjeldahl method (AOAC, 1984), and the fibre content according to the method of Van Soest and Robertson (1980). Nitrogen bound to fibre was determined on neutral (NDFN) and acid detergent residues (ADFN). Available fibre nitrogen (AFN) was calculated as NDFN concentration minus ADFN concentration. Neutral detergent soluble N (NDSN) was calculated as total N minus NDFN.

The degradation kinetics of total N, NDFN and AFN, obtained for each feedstuff and for each animal, were fitted (NLIN procedure of SAS, 1985) to an exponential model with (Dhanao, 1988) or without lag time (Orskov and Mc Donald, 1979). The N and N components degradability was calculated by fixing particle outflow rate at  $.04 \text{ h}^{-1}$  (Lechner-Doll et al., 1990).

The treatments were arranged in a complete block design with 3 replications and the data were subjected to one-way analysis of variance.

## RESULTS AND DISCUSSION

The NDFN fraction of temperate forages represented 34% of total N in our results, 35 and 33% in the results of Krishnamoorthy et al. (1982) and Janicki and Stallings (1988) respectively. The NDFN content of browses was comparable to that of hays, but more variable, from 10 to 64% (Fig. 1). The extent of variation also was large in the study of Rittner and Reed (1992), from 22 to 45% N total remaining in NDF. These variations of NDFN fraction were in relation to ADFN variations. The ADFN content of browses was in mean high (19%), and very variable, from 5 to 35% of total N. The ADFN fraction may include lignin-bound N, Maillard reaction products and tannin-protein complexes (Van Soest et al., 1987). Browse species have a wide range in quantity of tannins and phenolic compounds, and these tannins form insoluble complexes with protein which increase the N content of fibre (Mould and Robbins, 1981; Reed, 1986).

In mean, N degradability was 63.5 and 74.8% for browses and temperate forages respectively (Table 1). Among browses, N degradability of two pods was high, 82.9%, and that of leaves varied considerably, from 27.8% for the leaves of *G. senegalensis* to 85.2% for the leaves of *B. aegyptiaca*. The low degradability of *G. senegalensis* leaves was due to an

Figure 1 - Partition of nitrogen into neutral-detergent soluble (NDSN), available fibre (AFN) and acid detergent fibre nitrogen (ADFN) in feedstuffs (expressed on % total N)

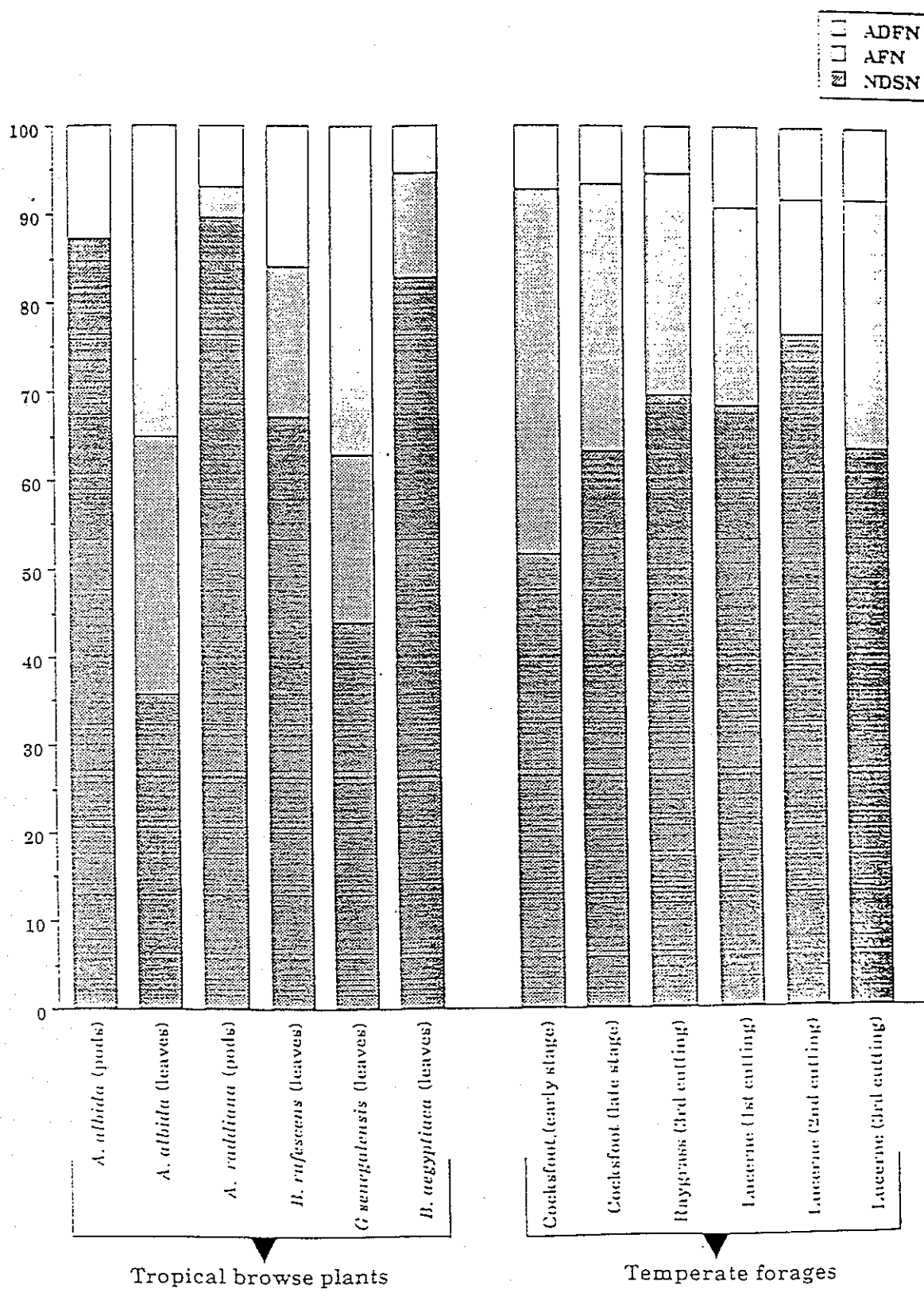


Table 1 - *In situ* N degradability of feedstuffs

	Rapidly degradable fraction	Slowly degradable fraction	Undegradable fraction	Lag time (h)	Degrada- tion rate (h <sup>-1</sup> )	N degrada- bility (%)
	(% N)					
<u>Tropical browse plants</u>						
<i>Acacia albida</i> (pods)	49.4	40.9	9.7	.0	.135	80.2
<i>Acacia albida</i> (leaves)	19.0	40.3	40.6	.2	.024	35.3
<i>Acacia raddiana</i> (pods)	71.3	26.5	2.2	.0	.062	85.7
<i>Bauhinia rufescens</i> (leaves)	51.6	38.9	9.5	6.9	.040	66.9
<i>Guiera senegalensis</i> (leaves)	19.0	22.9	58.0	4.3	.025	27.8
<i>Balanites aegyptiaca</i> (leaves)	69.2	22.7	8.0	.0	.096	85.2
<u>Temperate forages</u>						
Cocksfoot (early stage)	21.3	73.0	5.6	.0	.083	70.6
Cocksfoot (later stage)	44.3	48.3	7.3	.0	.093	77.7
Rye-grass (3rd cutting)	33.7	49.7	16.6	.0	.112	69.8
Lucerne (1st cutting)	42.4	48.8	8.8	.0	.113	76.4
Lucerne (2nd cutting)	37.4	51.6	10.9	.0	.115	75.1
Lucerne (3rd cutting)	42.8	50.3	6.8	.0	.121	79.3
SEM	4.7	6.0	3.6	1.3	.033	3.2

high undegradable fraction in the rumen, 58.0% of total N. Pronounced differences for in sacco N degradability were also found by Kamatali et al. (1992) with 3 species of tree leaves. With an in vitro technique, Rittner and Reed (1992) reported a large variation for N degradability among West African browses, and the range between the common species in the two studies was similar.

The contribution of different N fractions to N degradability (Fig. 2) showed the dominance of NDSN which represented, in mean, 93 and 85% degraded N in tropical browses and temperate forages respectively. The N degradability of browses was nearly equal to NDSN content, expressed as a proportion of total N. But the contribution of the AFN fraction to N degradability was not negligible for temperate hays. For all studied forages, ADFN fraction was almost completely undegradable.

Nitrogen degradability of hays was not significantly related to NDFN or ADFN contents, the variation of N degradability being small. In contrast, for browses, the extent of variation was large and the N degradability was closely related to NDFN contents ( $RMSE=7.1$ ;  $R^2=.94$ ), mostly owing to the very close association between ADFN content and N degradability ( $RMSE=3.6$ ;  $R^2=.98$ ) (fig.3).

## CONCLUSIONS

The N distribution in plant cell is more homogenous in the temperate forages than in the browse fodders studied. As a result, the variations in N degradability are greater for the latter. And the N degradability of browses is closely related to ADFN contents. This relationship could be used to predict the N value of browses which is very variable. Nevertheless it should be assessed on a more important number of species.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work is supported in part by the International Foundation of Science (grant B/1107-02) and by the European Economic Community (STD2/215 Program).

The authors wish to thank R. BERGEAULT for his technical assistance.

Figure 2 - Degradable N and its partitioning into degradable neutral-detergent soluble (NDSN), available fibre (AFN) and acid detergent fibre nitrogen (ADFN) in feedstuffs (expressed on % total N)

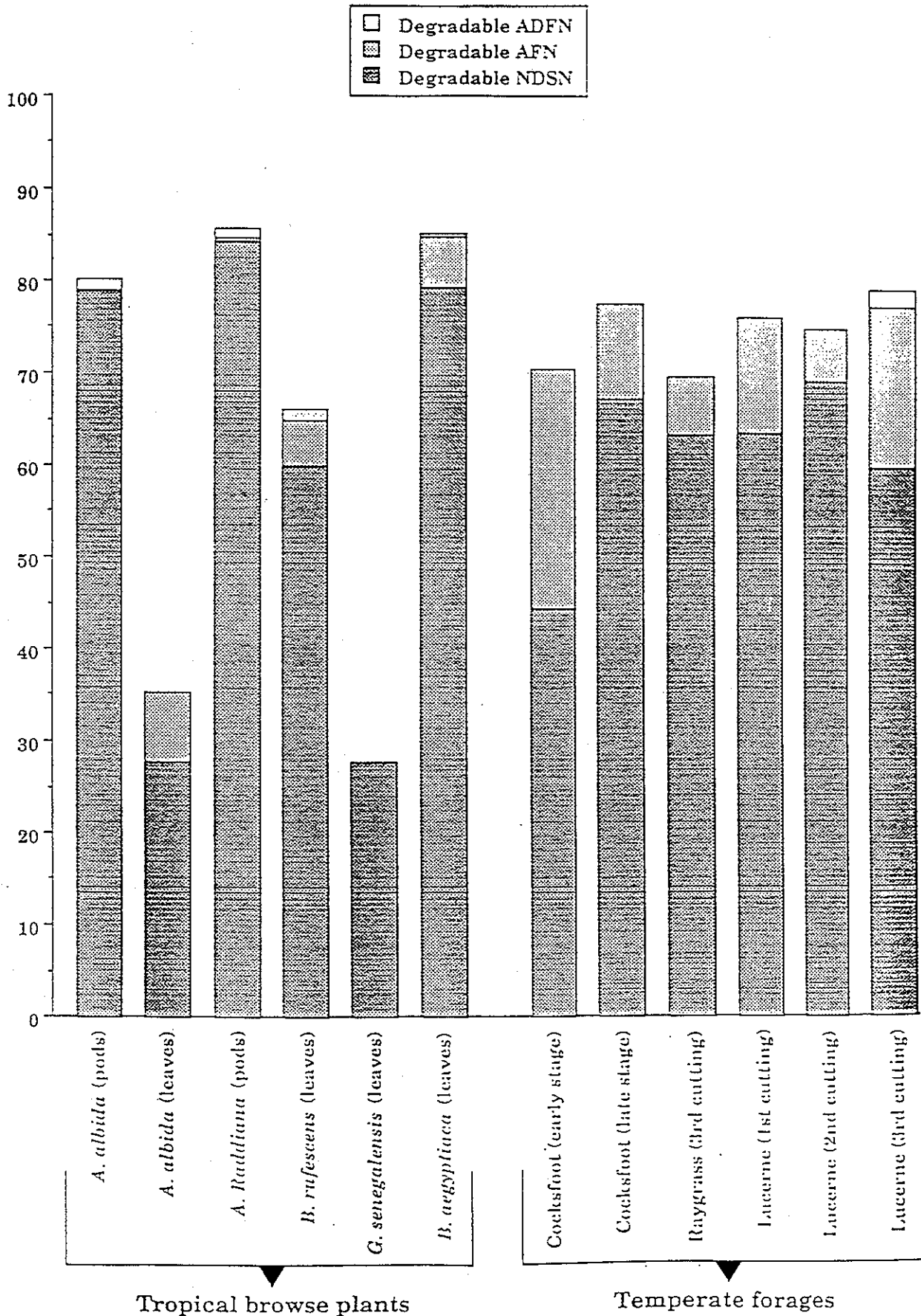
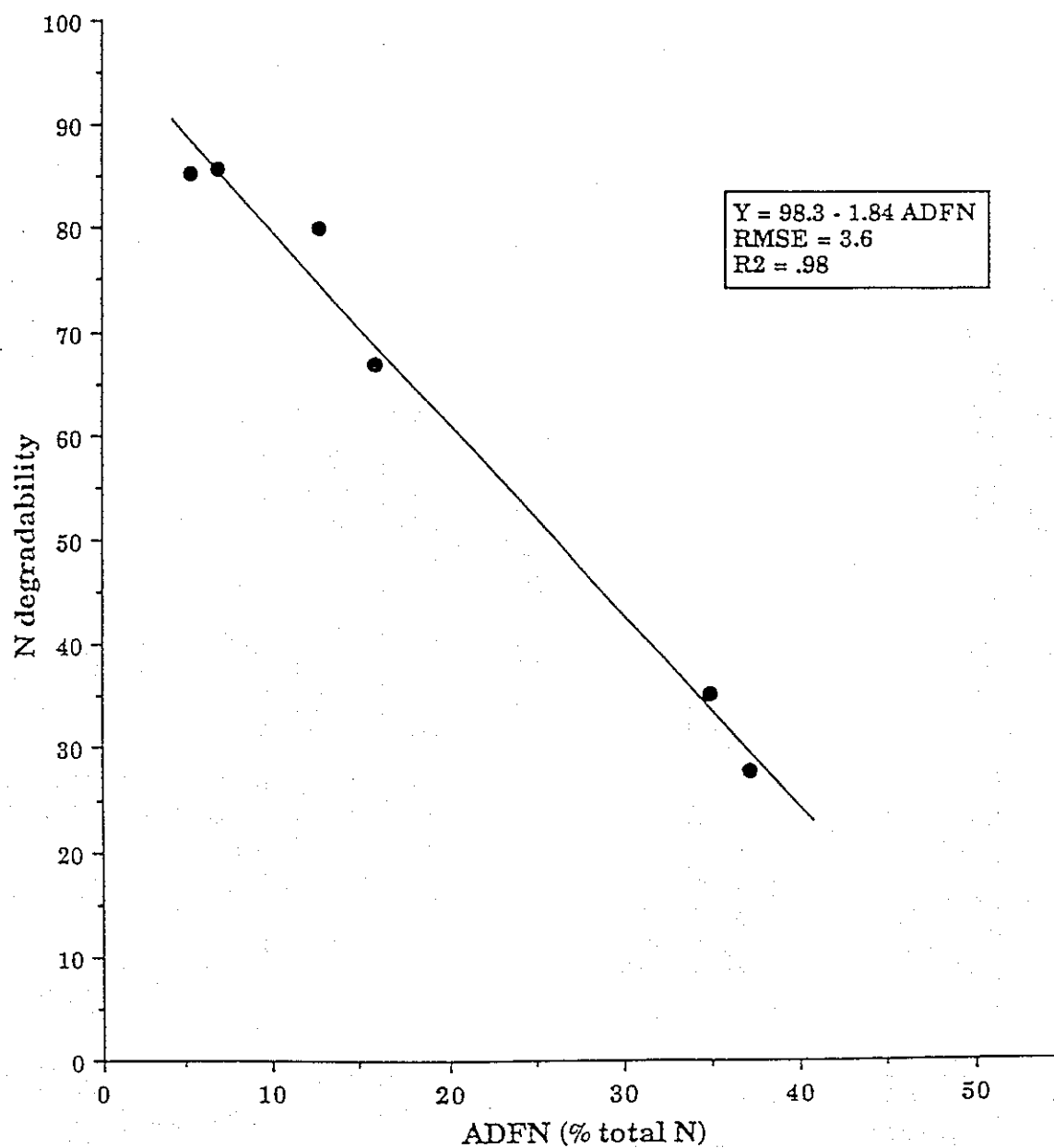


Figure 3 - Relationship between ADFN content (expressed on p.100 total N) and N degradability of browses (RMSE = root mean square error)



## REFERENCES

- Association of Official Analytical Chemists, 1984. Official Methods of Analysis, 14th edn. AOAC, Washington, DC, pp. 152-174.
- Dhanao, M.S., 1988. On the analysis of dacron bag data for low degradability feeds. *Grass Forage Sci.*, 43: 441-444.
- Goering, H.K., Gordon, C.H., Hemken, R.W., Waldo, D.R., Van Soest, P.J. and Smith, L.W., 1972. Analytical estimates of nitrogen digestibility in heat damaged forages. *J. Dairy Sci.*, 56: 1275-1280.
- Janicki, F.J. and Stallings, C.C., 1988. Degradation of crude protein in forages determined by *in vitro* and *in situ* procedure. *J. Dairy Sci.*, 71: 2440-2448.
- Jarrige, R., 1980. Chemical methods for predicting the energy and protein value of forages. *Ann. Zootech.*, 29: 299-323.
- Kamatalli, P., Teller, E., Vanbelle, M., Colignon, G., and Foulon, M., 1992. *In situ* degradability of organic matter, crude protein and cell wall of various tree forages. *Anim. Prod.*, 55: 29-34.
- Krishnamoorthy, U., Muscato, T.V., Sniffen, C.J. and Van Soest, P.J., 1982. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *J. Dairy Sci.* 65: 217-225.
- Lechner-Doll, M., Rutagwenda, T., Schwartz, H.J., Schultka, W. and Engelhardt, W.V., 1990. Seasonal changes of ingesta mean retention time and forestomach fluid volume in indigenous camel, cattle, sheep and goats grazing a thornbush savannah pasture in Kenya. *J. Agric. Sci.*, 115: 409-420.
- Le Houerou, H.N., 1980. The role of browse in the Sahelian and Sudanian zones. In: H.N. Le Houerou (Editor), *Browse in Africa*. International Livestock Centre for Africa, Addis Ababa, 21 pp.
- Michalet-Doreau, B. and Ould-Bah, M.Y., 1992. Influence of hay making on *in situ* nitrogen degradability of forages in cows. *J. Dairy Sci.*, 75: 782-788.
- Mould, E.D. and Robbins, C.T., 1981. Evaluation of detergent analysis in estimating nutritional value of browse. *J. Wildl. Manage.*, 45: 937-947.
- Orskov, E.R. and McDonald, I., 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to rate of passage. *J. Agric. Sci.*, 92: 499-503.
- Reed, J., 1986. Relationships among soluble phenolics, insoluble proanthocyanidins and fibre in East African browse species. *J. Range Manage.*, 39: 5-7.
- Reed, J.D., Soller, H. and Woodward, A., 1990. Fodder tree and straw diets for sheep: intake, growth, digestibility and the effects of phenolics on nitrogen utilisation. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 30: 39-50.
- Ritmer, U. and Reed, J.D., 1992. Phenolics and *in vitro* degradability of protein and fibre in West African browse. *J. Sci. Food Agric.*, 58: 21-28.
- SAS, 1985. SAS User's Guide: Statistics, Version 5 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Van Soest, P.J. and Robertson, J.B., 1980. Systems of analysis for evaluating fibrous feeds. In: W.J. Pigden, C.C. Balch and M. Graham (Editors), Standardization of Analytical Methodology for Feeds. Proceeding of a workshop, 12-14 March 1979, Ottawa, Canada. IRDC Rep.134e, Unipub, New York, pp. 47-60.

Van Soest, P.J. and Sniffen, C.J., 1984. Nitrogen fractions in NDF and ADF. Proc. Distillers Feed Conf., 39: 73-81.

Van Soest, P.J., Conklin, N.L. and Horwarth, P.J., 1987. Tannins in foods and feeds. Proc. Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, Ithaca, NY, Cornell University, Syracuse, NY, pp.115-122.

Wilson, A.D., 1977. The digestibility and voluntary intake of the leaves of trees and shrubs by sheep and goats. Aust. J. Agric. Res., 28: 501-508.



#### 4.5. Dégradabilité de l'azote des ligneux fourragers dans les intestins

Taux de disparition *in sacco* de l'azote dans l'intestin grêle et dans le gros intestin

Le taux de disparition de l'azote dans les intestins de trois espèces ligneuses et deux foins tempérés sont présentés au tableau IX.2. Dans l'intestin grêle ce taux était en moyenne de 46 p.100 N initial et a varié de 16 pour les fruits d'*A. raddiana* à 78 p.100 pour le foin de *Dactyle* récolté à un stade précoce. Ce taux de disparition de N dans l'intestin grêle était en moyenne plus faible pour les ligneux (34 p.100 en moyenne) que pour les deux foins de graminées (69 p.100 en moyenne). Il était très variable pour les ligneux, de 24 pour les *Acacia* à 63 p.100 pour *Balanites aegyptiaca*, espèce pour laquelle la valeur était comparable à celle des foins tempérés.

Tableau IX.2 - Digestion *in situ* de l'azote dans l'intestin grêle et dans le gros intestin (p.100 N entrant dans le compartiment : comparaison des ligneux avec des foins de zone tempérée (Fall Touré 1993)

FOURRAGES	ORGANES	DIGESTION DE L'AZOTE	
		INTESTIN GRELE	GROS INTESTIN
<i>A. albida</i>	fruits	32.7	12.4
<i>A. albida</i>	feuilles	23.2	0.0
<i>A. raddiana</i>	fruits	15.9	8.5
<i>B. aegyptiaca</i>	feuilles	63.5	-0.5
<i>D. précoce</i>	foin	77.9	-20.7
<i>D. tardif</i>	foin	60.5	-1.5

Yang (1991) en étudiant la dégradabilité dans l'intestin grêle des fourrages tempérés a mis en évidence l'importance de la contamination microbienne. Le taux de disparition de l'azote des foins de luzerne et de prairie permanente était respectivement de 69.8 et 67.6 p.100 de l'azote entrant dans le compartiment. Si on tenait compte de la contamination bactérienne ce taux passait à 51.0 et 32.6 p.100 respectivement pour la luzerne et le foin de prairie permanente.

Le taux de disparition des MAT dans le gros intestin a été assez faible et même parfois négatif (tableau IX.2).

La disparition de l'N alimentaire dans le gros intestin est un phénomène de faible importance, considéré souvent comme négligeable. En fait, elle est mal connue en raison des faibles quantités d'azote mise en jeu. Il en résulte que la méthode des sachets mobiles est souvent appliquée dans l'ensemble de l'intestin par différence entre le duodénum et les fèces (Varvikko et Vahantalo, 1989 ; Hvelplund *et al.*, 1992 ; de Boer *et al.*, 1987) et les résultats sont utilisés pour caractériser la digestion de l'azote dans l'intestin grêle.

La différence entre les teneurs en N résiduel avant et après passage dans le gros intestin est le résultat de deux phénomènes qui agissent en sens inverse, la digestion de l'N alimentaire et microbien dans le gros intestin qui est probablement faible et la colonisation des résidus alimentaires par les microorganismes du gros intestin. Dans le cas d'une augmentation de la teneur en N résiduel (dactyle précoce) le taux de colonisation est supérieur au taux de dégradation. Par ailleurs, à la fin de l'intestin grêle, on dispose de faibles quantités de résidus pour la plupart des aliments sauf pour les feuilles d'*A. albida*. Les mesures se faisant par pesées elles peuvent donc être relativement imprécises avec de faibles résidus.

#### Evolution des MAT résiduelles après passage dans les différents compartiments du tube digestif

Le tableau IX.3 et la figure IX.9 présentent les proportions d'azote digéré dans les différentes parties du tube digestif. Après 14 heures d'incubation dans le rumen la proportion d'azote dégradé est importante pour tous les fourrages étudiés (74<D<86 p.100), sauf pour les feuilles d'*A. albida* (D = 23 p.100). Le rumen est donc le principal site de digestion de l'azote des fourrages. De 3 (pour les fruits d'*A. raddiana*) à 20 p.100 (Dactyle précoce) de l'azote initial a été dégradé dans l'intestin grêle, alors que la proportion d'azote dégradé dans le gros intestin était quasiment nulle. Ce dernier résultat autorise la récupération des sachets dans les fèces permettant ainsi la simplification de la technique des sachets mobiles.

Après passage dans les trois compartiments, rumen, intestin grêle et gros intestin, le pourcentage d'azote non digéré dans les différents compartiments du tube digestif varie de 5 à 15 p.100 de l'azote initial sauf pour les feuilles d'*A. albida* (Nres = 59 p.100).

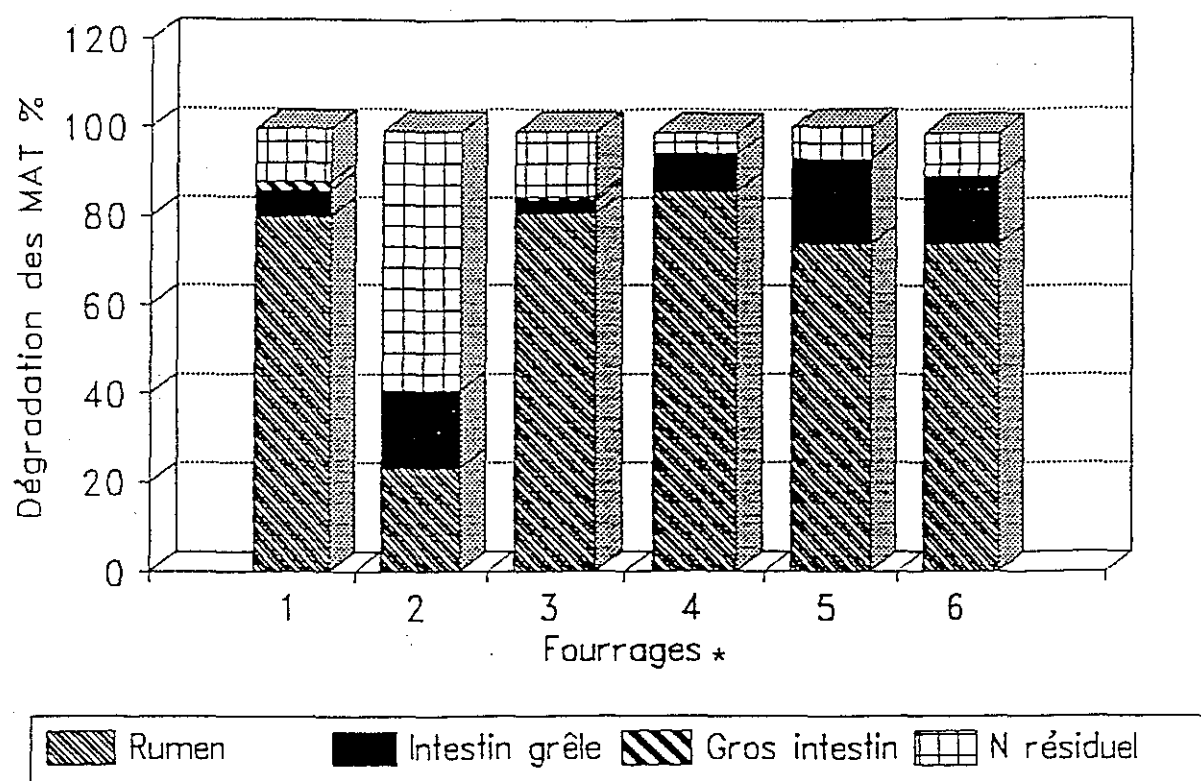
Tableau IX.3 - Dégradation des MAT (p.100 de l'azote initial) après passage dans les différents compartiments du tube digestif.  
Comparaison de trois espèces ligneuses avec deux foin tempérés (Fall Touré 1993)

FOURRAGES	ORGANES	COMPARTIMENT			
		Rumen*	Intestin grêle	Gros Intestin	N résiduel final**
<i>A. albida</i>	fruits	80	6	2	12
<i>A. albida</i>	feuilles	23	18	0	59
<i>A. raddiana</i>	-	81	3	1	15
<i>B. aegyptiaca</i>	-	86	9	0	5
Dactyle précoce	foin	74	20	-1	7
Dactyle tardif	-	74	16	0	10

\* N dégradé après 14 heures d'incubation dans le rumen.

\*\* Après passage dans le rumen (14h), dans l'intestin grêle et dans le gros intestin.

Figure IX.9 - Dégradation *in situ* des MAT des ligneux. Comparaison des compartiments du tube digestif



Fourrages \*

1. *A. albida* fruits
2. *A. albida* feuilles
3. *A. raddiana* fruits
4. *B. aegyptiaca* feuilles
5. Dactyle précoce foin
6. Dactyle tardif foin

### Relations entre l'azote résiduel estimé par les sachets mobiles, les teneurs en MAND et en ADF-N

La teneur en azote résiduel dans les sachets mobiles récupérés au niveau fécal est liée d'une part à la teneur en MAND des ligneux (*in vivo*), d'autre part à leur teneur en azote lié à l'ADF selon les équations suivantes :

$$\begin{array}{lll} \text{Nres} = 39.9 \text{ MAND} - 137.4 \pm 8.1 & R = 0.946 & N = 5 \\ \text{Nres} = 7.09 \text{ ADFN} - 3.7 \pm 7.0 & R = 0.952 & N = 6 \end{array}$$

Si le faible nombre de mesures limite la portée de ces équations, il a cependant été possible, en ce qui concerne l'utilisation digestive de l'azote des ligneux comparés aux foin des zones tempérées, d'établir des liaisons entre la technique *in vivo* (MAND) et la technique *in sacco* (sachets mobiles). Elles confirment également (Koné 1987 - Guerin *et al.* 1989) que l'azote dans l'ADF pourrait être un bon indicateur de la digestibilité des ligneux.

Cette portion de N est liée à la lignine et peut être surestimée par les réactions de Maillard (Van Soest et Mason, 1991) surtout en ce qui concerne les produits surchauffés. L'ADF-N peut être également surestimé par la présence de complexes tanins-protéines indigestibles (Waters *et al.* 1992) pour les aliments qui contiennent des composés secondaires comme les ligneux. Il a été un bon indicateur pour la caractérisation de l'azote des espèces ligneuses que nous avons étudiées.

Les résultats montrent une prépondérance du rôle du rumen rapport aux intestins pour la dégradation de l'azote des échantillons testés. En effet, 88 p.100 des MAT dégradées en moyenne le sont dans le rumen contre 15 p.100 seulement dans l'intestin grêle. La non modification des MAT résiduelles par leur passage dans le gros intestin suggère la récupération des sachets dans les fèces comme cela a été appliqué par la plupart des équipes utilisant cette technique (de Boer *et al.*, 1987).

Les fourrages classiques qu'ils ont étudiés avaient des teneurs en MATr (p.100 MAT) comprises entre 2 (herbe verte) et 8 p.100 (luzerne déshydratée). Les tourteaux d'arachide et de coton couramment utilisés au Sénégal avaient des teneurs en MATr de 0.9 et 1.4 p.100 de MAT respectivement.

Parmi nos échantillons, seul celui de feuilles *Balanites aegyptiaca* contient de l'azote très digestible comparable à un fourrage de graminées (MATr = 5 p.100 MAT), les gousses d'*Acacia albida* et les feuilles d'*Acacia raddiana* (MATr = 12 et 15 p.100 de MAT respectivement) étant comparables, de ce point de vue, à des pellicules de soja ou des farines de poisson. Les feuilles d'*Acacia albida* (MATr = 59 p.100 de MAT) sont plus proches des pulpes de raisin.

En ce qui concerne les ligneux, Jayasuriya *et al.* (1982) ont simulé la dégradation post-ruminale de quatre espèces ligneuses par traitement à la pepsine selon Tilley-Terry (1963) après passage dans le rumen pendant huit heures. Ils observaient une prépondérance du compartiment post ruminal dans lequel disparaissait 50 à 73 p.100 des MAT dégradées. Ils remarquaient l'existence de protéines alimentaires qui échappaient à la dégradation microbienne dans le rumen pour être absorbées dans l'intestin grêle. Ces résultats diffèrent des nôtres qui montrent, pour les espèces ligneuses étudiées, que la plus grande partie des MAT dégradées le sont dans le rumen. Ces différences pourraient s'expliquer par les méthodes appliquées

pour estimer la digestion post ruminale (*in situ* vs *in vitro*), mais aussi par le temps de préincubation dans le rumen qui est de 8 heures pour Jayasuriya *et al.* (1982) contre 14 heures pour nos essais.

En effet, selon de Boer *et al.* (1987), Antoniewicz *et al.* (1992) et Hvelplund *et al.* (1992), la durée de la préincubation dans le rumen, comprise dans les essais de de Boer *et al.* (1987) entre 0 et 24 heures, influence la répartition de la digestion entre le rumen et l'intestin.

Pour une digestion globale propre à l'aliment lui-même, il y aurait un phénomène de compensation entre les différents compartiments : une faible dégradabilité ruminale consécutive à un bref temps de séjour des aliments dans le rumen pourrait être rattrapée par une forte digestibilité intestinale.

Toutefois, il faut souligner que ces différences traduisent avant tout les conséquences de choix expérimentaux qui ne correspondent pas forcément à des conditions physiologiques.

La mise en évidence de ces phénomènes de compensation montre que la comparaison des aliments (dans le but d'établir des hiérarchies) sur le critère "digestion de l'azote dans le rumen/digestion de l'azote dans l'intestin" qui est utile au plan pratique, ne peut se faire que dans des conditions expérimentales strictement identiques.

On peut noter que dans l'étude de Safietou Fall Touré *et al.* (1993), les feuilles de *Faidherbia albida* ont, quel que soit le compartiment, une faible dégradabilité de leur azote.

Cette expérimentation a fait l'objet d'une publication dans la Revue : Proc. Soc. Nutr. Physiol. (1994) 3 : 60.

#### POST-RUMINAL DEGRADATION OF NITROGEN IN TROPICAL BROWSE PLANTS COMPARED TO LUCERNE HAY.

Safietou Fall-Touré, Brigitte Michalet-Doreau<sup>1</sup>, Claude Poncet<sup>1</sup>  
ISRA-LNERV BP 2057 Dakar Sénégal  
<sup>1</sup> INRA Centre de Clermont-Ferrand Theix, SNRH 63122 Saint  
Genès Champanelle France.

In tropical regions, high level of nitrogen (N) is one of the main chemical characteristics of tree forages when compared to grasses. However, the N availability in the digestive tract of ruminants is often questionable. To answer that question and thus, classify tropical browses according to the true N digestibility, *in sacco* method was used in the rumen (MICHALET-DOREAU and FALL-TOURE, 1993) for assessing their N value. In this study, N degradation of *Acacia albida* and *Balanites aegyptiaca* leaves in sheep small and large intestines was compared to that of lucerne hay.

*A. albida* and *B. aegyptiaca* leaves were sampled in Dakar (Senegal) and lucerne hay was obtained from INRA (Clermont-Ferrand Center, France). Samples were dried and ground to pass through 1 mm mesh. After being incubated in the rumen of Jersey cows (MICHALET-DOREAU et al., 1987) for 14 hours, rumen residue, approximately 300 mg, were sampled in micro-nylon bag and introduced in the small intestine of sheep through duodenal fistula. Part of the bags was collected at the end of the duodenum through the ileo-ileal fistula while the other part was incubated again in the large intestine for recuperation in feces. Bag were washed in sodium chloride solution (9%) and oven dried (80 °C) for 24 hours (YANG et PONCET, 1990). N degradation represented by N loss in the small and large intestines was estimated by difference in N content of samples between duodenum and ileum and between ileum and feces. Large variations in N degradation profiles of tree forages were observed. Total N degradability after passage through three digestive tract compartments was 41, 95, and 93 % for *A. albida*, *B. aegyptiaca* and lucerne hay respectively.

Rumen was the main site of N degradation in which 80 % of the total degraded N disappeared. In the small intestine, N degradation was 23, 64 and 79 % of N entering that compartment for *A. albida*, *B. aegyptiaca* and lucerne hay respectively. In the large intestine, N disappearance was close to zero for all the samples. The N degradation profiles was not modified by the passage through the large intestine. That observation allows recuperation of micro-bags in the feces after introduction in the duodenum though fistula as reported by HVELPLUND et al., (1992).

Degradation profiles appear to be strongly ( $R = 0.95$ ) linked to lignocellulose content in forages. Close relationships were also found between in vivo digestibility and in sacco N degradation after passage through the whole digestive tract ( $R = 0.95$ ).

#### REFERENCES

- MICHALET-DOREAU B., FALL TOURE S., 1993. Ruminant N degradation of browse and temperate forages and partition of N into carbohydrates. Ann. Zootech., 42: 140.
- MICHALET-DOREAU B., VERITE R. et CHAPOUTOT P., 1987. Methodologie de mesure de la dégradabilité in sacco de l'azote des aliments dans le rumen. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA France 69: 5-7.
- YANG W.Z. et PONCET C. 1991 Mesure de la digestion de l'azote alimentaire dans les différentes parties du tube digestif du mouton par la technique des sachets nylon. Note Technique Unité de la Digestion. CRZV Theix INRA, France.
- HVELPLUND T., WEISBJERG M.R. and ANDERSEN L.S., 1992. Estimation of the true digestibility of rumen undegraded dietary protein in the small intestine of ruminants by the mobile bag technique. Acta Agric. Scand., 42: 34-39.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTONIEWICZ A.M., VAN VUUREN A.M., VAN DER KOELEN C.J. and KOSMALA I., 1992-  
Intestinal digestibility of rumen undegraded protein of formaldehyde-  
treated feedstuffs measured by mobile bag and *in vitro* technique. Anim.  
Feed Sci. Technol., 39: 111-124.
- BERNARD L., MARVALIN O., YANG W.Z., PONCET C., 1988 - Colonisation  
bactérienne de différents types d'aliments incubés in sacco dans le  
rumen : conséquences pour l'estimation de la dégradabilité de l'azote.  
Reprod. Nutr. Dévelop., 28, suppl. 1 : 105-106.
- DE BOER G., MURPHY J.J., KENELLY J.J., 1987 - Mobile nylon bag for  
estimating intestinal availability of rumen undegradable protein. J.  
Dairy Sci, 70 : 977-982.
- DEMARQUILLY C., GRENET E. et ANDRIEU J., 1981 - Les constituants azotés des  
fourrages et la prévision de la valeur azotée des fourrages. In:  
Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants, INRA  
Publ. : 129-154.
- GUERIN H., RICHARD D., LEFEVRE P., PRIOT D., MBAYE N., 1989 - Prévision de  
la valeur nutritive des fourrages ingérés sur parcours naturels par les  
ruminants domestiques sahéliens et soudaniens. In Proc. 16th Internat.  
grassl. cong., Nice, France : 879-880.
- HVELPLUND T., WEISBJERG M.R. and ANDERSEN L.S., 1992 - Estimation of the  
true digestibility of rumen undegraded dietary protein in the small  
intestine of ruminants by the mobile bag technique. Acta Agric. Scand.,  
42 : 34-39.
- JAYASURIYA M.C.N., WIJEYATUNGE C. and PERERA H.D.G., 1982 - Rumen and post-  
rumen fermentation of spent tea leaf protein and other protein sources  
studied by the nylon bag method. Anim. Feed Sci. Technol., 7 : 221-  
224.
- KONE A.R., 1987 - Valeur nutritive des ligneux fourragers des régions  
sahélienne et soudanienne d'Afrique occidentale. Recherche d'une méthode  
simple d'estimation de la digestibilité et de la valeur azotée. Thèse  
Doct. 3e cycle. Univ. P. et M. Curie, Paris VI. 131 p.
- KONE A.R., RICHARD D., GUERIN H., 1989 - Teneurs en constituants pariétaux  
et en matières azotées des ligneux fourragers d'Afrique occidentale. In:  
XVIe Congrès International des Herbages. Nice, Tome II : 947-948.
- KRISHNAMOORTHY U., MUSCATO T.V., SNIFFEN C.J. and VAN SOEST P.J., 1982 -  
Nitrogen fractions in selected feedstuffs. J. Dairy Sci., 65 : 217-  
225.

- LECHNER-DOLL M., RUTAGWENDA T., SCHWARTZ H.J., SCHULTKA W. and ENGELHARDT W.V., 1990 - Seasonal changes of ingesta mean retention time and forestomach fluid volume in indigenous camel, cattle, sheep and goats grazing a thornbush savannah pasture in Kenya. *J. Agric. Sci.*, 115 : 409-420.
- Mc LEOD M.N., 1974 - Plant tannins - Their role in forage quality. *Nutr. Abstr. Rev.*, 44 : 803-815.
- MATHERS J.C. and AITCHISON E.M., 1981 - Direct estimation of the extent contamination of food residues by microbial matter after incubation within synthetic fibre bags in the rumen. *J. agric. Sci. Camb.* 96 : 691-693.
- MICHALET-DOREAU B., 1988 - Proposition de programme sur l'étude de la valeur azotée des ligneux - Programme ST2/215 : 3 p.
- MICHALET-DOREAU B. et OULD BAH M.Y., 1989. Estimation of the extent of bacterial contamination in bag residue and its influence on *in sacco* measurements of forage nitrogen degradation in rumen. In: *Proc. XVth Int. Grassld Congr.*: 909-910.
- NOCEK J.E., 1988 - *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: A review. *J. Dairy Sci.*, 71 : 2051-2069.
- ORSKOV E.R. and Mc DONALD I., 1979 - The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.*, 92 : 499-503.
- OULD BAH M.Y., MICHALET-DOREAU B., JAMOT J., 1988 - Colonisation bactérienne des résidus alimentaires des sachets incubés dans le rumen : utilisation du "stomacher" pour la réduire et conséquences sur la mesure de la dégradabilité ruminale de l'azote. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 28 : 107-108.
- OULD BAH M.Y., 1989 - Adaptation de la technique *in sacco* à l'étude de la dégradation dans le rumen de l'azote des fourrages et application à l'étude des fourrages verts. Thèse Doct. Univ. Sci. Tech. Languedoc Montpellier. 185 p.
- OULD BAH M.Y., and MICHALET-DOREAU B., 1989 - Effect of forage conservation methods on *in sacco* nitrogen degradability in the rumen. In: *Proc. XVth Int. Grassld Congr.*, 907-908.
- RAE R.C. et SMITHARD R.R., 1985 - Estimation of true nitrogen digestibility in cattle by a modified nylon bag technique. In: *Proc. Nutr. Soc. Abstract of Communications*, p. 116.
- TILLEY J.M.A., TERRY R.A., 1963 - A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Br. J. Grassld. Soc.*, 18 : 104-107.
- TOURE FALL Safietou, 1993 - Valeur nutritive des fourrages ligneux, leur rôle dans la complémentation des fourrages pauvres des milieux tropicaux. Thèse de Doctorat en Zootechnie - option Nutrition. Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier. 144 p.



- VAN SOEST P.J. and MASON V.C., 1991 - The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. *Anim. feed Sci. Technol.*, 32 : 45-53.
- VAN SOEST P.J. and SNIFFEN C.J., 1984 - Nitrogen fractions in NDF and ADF. In: *Proc. Distillers Feed Conference. Cincinnati, Ohio*, 39 : 73-81.
- VAN SOEST P.J., WINE R.H., 1967 - Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. *J. Ass. Off. Anal.*, 50 : 50-55.
- VARVIKKO T. and LINDBERG J.E., 1985 - Estimation of microbial nitrogen in nylon bag residues by feed  $^{15}\text{N}$  dilution. *Br. J. Nutr.*, 54 : 473-481.
- VARVIKKO T. and VANHANTALO A., 1989 - Critical aspects in intestinal digestion estimates obtained by the mobile bag method. *J. Anim. Sci.*, 2 : 404-406.
- WATERS C.J., KITCHERSIDE M.A. and WEBSTER A.J.F., 1992 - Problem associated with estimating the digestibility of undegraded dietary nitrogen from acid-detergent insoluble nitrogen. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 39 : 279-291.
- WILSON A.D., 1977 - The digestibility and voluntary intake of the leaves of trees and shrubs by sheep and goats. *Aust. J. Agric. Res.*, , 28 : 501-508.
- YANG W.Z., 1991 - Etude cinétique de la colonisation microbienne des aliments dans le rumen du mouton. Conséquences sur la compartimentation de la biomasse et sur sa dynamique de sortie du rumen dans le cas de différents types de rations. Thèse Doct. Univ. Blaise Pascal. N°307, 391 p.
- YANG W.Z. et PONCET C., 1991 - Mesure de la digestion de l'azote alimentaire dans les différentes parties du tube digestif du mouton par la technique des sachets nylon. Note Technique Unité de la Digestion. CRZV Theix INRA, France.